



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/10.27.22.47-TDI

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS
HEURÍSTICOS E DE INOVAÇÃO NOS PROJETOS DE
SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO, BASEADOS EM
TECNOLOGIA DE SATÉLITES**

Adilson Luiz Barbosa

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação
em Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de
Sistemas Espaciais, orientada
pelo Dr. Luís Antonio Waack
Bambace, aprovada em 23 de
novembro de 2015.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KFSSCP>

INPE
São José dos Campos
2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/10.27.22.47-TDI

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS
HEURÍSTICOS E DE INOVAÇÃO NOS PROJETOS DE
SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO, BASEADOS EM
TECNOLOGIA DE SATÉLITES**

Adilson Luiz Barbosa

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação
em Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de
Sistemas Espaciais, orientada
pelo Dr. Luís Antonio Waack
Bambace, aprovada em 23 de
novembro de 2015.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KFSSCP>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Adilson Luiz.

B234p Proposta de utilização de métodos heurísticos e de inovação nos projetos de sistemas de localização, baseados em tecnologia de satélites / Adilson Luiz Barbosa. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxxii + 275 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/10.27.22.47-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientador : Dr. Luís Antonio Waack Bambace.

1. GPS. 2. PCD. 3. Ionosfera. I.Título.

CDU 629.783:519.6



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

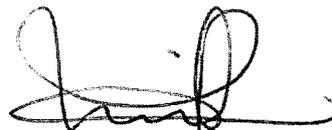
Aluno (a): **Adilson Luiz Barbosa**

Título: "PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS E DE INOVAÇÃO NOS PROJETOS DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO, BASEADOS EM TECNOLOGIA DE SATÉLITES".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas
Espaciais**

Dr. Paulo Giacomio Milani



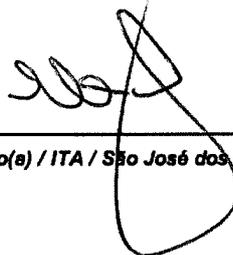
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Luis Antônio Waack Bambace



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Elói Fonseca



Convidado(a) / ITA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 23 de Novembro de 2015

“ E pelo conhecimento se encherão as câmaras com todos os bens preciosos e agradáveis. O homem sábio é forte, e o homem de conhecimento consolida a força. O sábio ouvirá e crescerá em conhecimento, e o entendido adquirirá sábios conselhos. O temor do Senhor é o princípio do conhecimento”.

Provérbios 1: 5, 7; 24: 4,5

A Deus que é o dono de todo conhecimento, ao orientador, participantes da banca, coordenador, professores e profissionais do INPE, à família e aos amigos do ICEA, DCTA e IC/SJC.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao *Senhor Deus*, doador da vida e da disposição em adquirir conhecimentos para o benefício do ser humano.

Ao INPE, pela oportunidade concedida em realizar o Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais na área de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, fundamental para o aprimoramento da pesquisa nacional e desenvolvimento de recursos humanos altamente capacitados.

Ao orientador, Prof. Dr. Luis Antônio Waac Bambace, pela sua mente brilhante e seu conhecimento especializado em diversas áreas da engenharia, demonstrando muita dedicação ao trabalho e profissionalismo. Atuou de modo prestativo, incentivador, amigável em suas orientações e conselhos, sendo incansável e sempre atencioso, tanto no horário normal quanto nos períodos de descanso ou outros afastamentos previstos.

Ao coordenador do curso, Dr. Walter Abrahão dos Santos, pelo excelente trabalho realizado. Aos membros da Banca Examinadora, Dr. Paulo Giacomo Milani (INPE), Dr. Elói Fonseca (ITA), Dr. Mário César Ricci (INPE) e Dr. José Bezerra Pessoa Filho (IAE), pelas valiosas contribuições e pela disponibilidade em avaliar esta dissertação.

Aos professores do ETE/CSE, profissionais capacitados que se dedicam exaustivamente ao seu árduo trabalho, que é recompensado pelos resultados reconhecidos pela sociedade acadêmica e científica. Aos funcionários das secretarias, bibliotecas, portarias e outros setores do INPE.

Ao Cel. Av, Leandro Costa de Andrade, ex-Diretor do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA); Cel. Esp. Met. Carlos Alberto Ferreira Gisler, ex-Chefe da Subdiretoria de Pesquisa; T Cel. Esp. Met. Adilson Gleomenes Rocha; pelo apoio gerencial e incentivos que foram essenciais para a realização das disciplinas. Aos superiores, amigos e colaboradores das Subdiretorias (Pesquisa, Administração e Ensino), da Divisão de Pesquisa Aplicada e de todas as outras áreas do ICEA.

À querida família, Lourdes Afonso Barbosa, Daniel Luiz Barbosa, Mateus Luiz Barbosa e Raquel Luiza Barbosa pelo incentivo e compreensão dos momentos de dedicação aos estudos. Aos líderes e amigos da Igreja da Cidade de São José dos Campos pelo incentivo e amizade demonstrados.

RESUMO

Neste trabalho aplica-se um método de geração de inovação a dois problemas: a) eliminação ou minimização de erros ionosféricos na navegação GPS (Global Positioning System), e b) a adaptação do sistema de coleta de dados do INPE para o uso de nanossatélites no lugar dos SCDs (Satélites de Coleta de Dados) e CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*). Neste último caso há a necessidade de compensar erros ionosféricos maiores, devido a uma frequência mais baixa que a do GPS, a questão do custo mínimo de modificação das PCDs, e de menor disponibilidade de energia nos nanossatélites. O método combina TRIZ (*Theory of the Solution of Inventive Problem*), Matriz de Pugh e AHP (*Analytic Hierarchy Process*). A TRIZ é um método heurístico de inovação criado por Genrich Saulovich Altshuller para problemas de engenharia, que também tem o objetivo de minimizar o uso de recursos na solução do problema. A matriz de Pugh é um método de seleção sequencial para problemas complexos, onde tanto as especificações como as alternativas de solução não são bem conhecidas, no início do processo. O AHP é um método de seleção multicritério que usa comparação de pares de soluções para obter pesos na avaliação, e também possui controle de qualidade através de autovalores de suas matrizes de comparação. Este controle de qualidade torna o método robusto, no sentido de que o mesmo indica se a seleção é ou não confiável e, em decorrência, torna qualquer tentativa de manipulação mais difícil. Com este método dez novas soluções foram encontradas para o problema do GPS, e outras doze para o caso das PCDs. Foram encontradas três soluções aparentemente muito eficazes e inovadoras para o problema do GPS e três soluções de mesmas características para o caso das PCDs. As metodologias são descritas em detalhes na revisão bibliográfica, assim como alguns detalhes de funcionamento do GPS e sistema de PCDs. Esta revisão também descreve os efeitos ionosféricos sobre os sinais de radiofrequência. Os subsistemas de aeronaves e nanossatélites foram sendo descritos com o desenvolvimento do método, à medida que se mostraram relevantes ao processo. As opções por TRIZ, Matriz de Pugh e AHP foram realizadas após uma ampla pesquisa bibliográfica quanto a métodos heurísticos de soluções inovadoras e de seleção multicritério. O mais importante em um processo de busca de inovação é a eficiente exploração do espaço de soluções e sua capacidade de: evitar a adoção precipitada de qualquer solução, realmente encontrar soluções eficazes e evitar detalhamentos desnecessários para redução do custo do processo. O processo escolhido se mostrou capaz de cumprir estes itens nos dois problemas. As tentativas de resolver um problema antes de conhecê-lo completamente gera um alto risco de se resolver o problema errado. A matriz de Pugh, associada com o TRIZ, ajudou a resolver contradições mais simples no início do processo, facilitando o conhecimento mais amplo do problema antes de se partir para a utilização do AHP na solução definitiva.

Palavras-chave: GPS. PCD. Ionosfera.

PROPOSED USE OF HEURISTICS AND INNOVATION METHODS IN LOCATION SYSTEMS DESIGN, BASED ON SATELLITE TECHNOLOGY

ABSTRACT

This work applies an innovation generation heuristic method to two problems: a) the mitigation or elimination of ionospheric errors in GPS (Global Positioning System) navigation; and b) the adaptation of the INPE data collection system to the use of nanosatellites in replacement of SCDs (Data Collection Satellite) and CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*). In this last case there is the need to compensate larger ionospheric errors, due to a lower frequency than the GPS, the question of minimum cost of PCDs modification, and a smaller energy availability in nanosatellites. The method combines TRIZ (Theory of the Solution of Inventive Problems) Pugh matrix and AHP (Analytic Hierarchy Process). The TRIZ is an innovation heuristic method created by Genrich Saulovich Altshuller for engineering problems, that also has the goal of minimizing the use of resources in the problem solution. The Pugh Matrix is a method of sequential selection to complex problems, where both, the specification and solution alternatives are not well known in the beginning of the process. The AHP is a Multiple Criteria Decision Making method that use pairwise comparisons to obtain weights and solution evaluation, and also has a quality control by means of the eigenvalues of its pairwise comparison matrices. This quality control turns the method a robust one, as it indicates the reliability of the selection, and therefore turns any manipulation trial more difficult. With this method ten new solutions were found to the GPS problem, and another twelve to the PCD case. It seems that three solutions found to the GPS case are innovative and effective, as well as three solutions found to the PCD case. The methodologies were described in detail in the literature revision chapter together with GPS and SCD systems operation details. This chapter also studies signal radiopropagation in the ionosphere. Aircraft and nanosatellites subsystems were described along the method application, as soon as they showed themselves relevant to the process. The option for TRIZ, Pugh Matrix and AHP were done after an extensive bibliographical research regarding heuristic methods for innovative solutions search and Multiple Criteria Decision Making. The most important aspect of an innovation search method is the efficient sweeping of the solution space and its capacity in avoiding: precipitated adoption of any solution, really finding the effective solutions, and avoiding unnecessary detailing, this latter to reducing the process costs. The chosen process showed itself able to reach these goal in the two problems. The trials of solving a problem before knowing it completely creates a high risk of a wrong problem solving. The Pugh Matrix associated with TRIZ helps ones to solve simpler contradictions at the beginning of the process, making it easier to know the more wide problem before starting the solution of the complete problem and the AHP selection procedure.

Keywords: GPS. PCD. Ionosphere.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Processo criativo segundo Atshuller.	13
Figura 2.2 - Sequência operacional do método da matriz de contradição.....	16
Figura 2.3 - Parâmetros de engenharia.....	17
Figura 2.4 - Princípios inventivos.....	18
Figura 2.5 - Amostra da matriz de contradição.....	19
Figura 3.1 - Operação do ILS.....	39
Figura 3.2 - Componentes do GPS.....	42
Figura 3.3 - Sistema bidimensional das posições de satélites do GPS.....	48
Figura 3.4 - Trilateração GPS no plano	50
Figura 3.5 - Trilateração GPS.....	51
Figura 3.6 - Princípio básico do GPS	52
Figura 3.7 - Diagrama de sistemas diferenciais	55
Figura 3.8 - Diagrama de operação do GBAS	58
Figura 3.9 - Diagrama de operação do SBAS	58
Figura 3.10 - Configuração do SBCD	60
Figura 3.11 - <i>Cubesat</i> do CONASAT	64
Figura 4.1- Zonas de Fresnel.....	73
Figura 4.2 - Considerações para o cálculo de D (diferença de tempo).....	74
Figura 4.3 - Desvanecimento por cintilação.	76
Figura 4.4 - Formação das bolhas ionosféricas.....	78
Figura 4.5 - Ciclo solar.	78
Figura 4.6 - Atuação das bolhas ionosféricas em dupla frequência.	81
Figura 4.7 - Método de cone <i>Doppler</i>	84
Figura 4.8 - Localização de PCDs.....	85
Figura 5.1 - Identificação do par conflitante (<i>SuField</i> GPS).....	148
Figura 5.2 - Condução de energia (sistemas de satélites/ <i>SuField</i> GPS).....	149
Figura 5.3 - Condução de energia (sistemas auxiliares/ <i>SuField</i> GPS).....	150
Figura 5.4 - Modelo gráfico de contradição técnica (<i>SuField</i> GPS).....	151
Figura 5.5 - Regra 1.1.1 (<i>SuField</i> GPS).....	172
Figura 5.6 - Regra 1.1.5 (<i>SuField</i> GPS).....	173
Figura 5.7 - Esquema da regra 1.1.5 (<i>SuField</i> GPS).....	174
Figura 5.8 - Regra 1.2.1 (<i>SuField</i> GPS).....	175
Figura 5.9 - Esquema da regra 1.2.1 (<i>SuField</i> GPS).....	175
Figura 5.10 - Regra 1.3.2 (<i>SuField</i> GPS).....	176
Figura 5.11 - Regra 2.1.1 (<i>SuField</i> GPS).....	177
Figura 5.12 - Regra 4.1.2 (<i>SuField</i> GPS).....	177

Figura 5.13 - Estatísticas das soluções (TRIZ/GPS).....	179
Figura 5.14 - Estatísticas das soluções (TRIZ e Matriz de Pugh/GPS).....	179
Figura 5.15 - Hierarquia de decisão (AHP).....	181
Figura 5.16 - Hierarquia de decisão para solução final (AHP- Caso A).....	188
Figura 5.17 - Hierarquia de decisão para solução final (AHP- Caso B).....	191
Figura 5.18 - Operação completa do GPSEER.....	199
Figura 5.19 - Sistema inercial/alltímetro do GPSEER.....	200
Figura 5.20- Operação dos pseudolites do GPSEER.....	201
Figura 5.21 - Instrumento do GPSEER na aeronave.....	209
Figura 5.22 -Telas do GPSEER para profissionais da aviação no solo.....	210
Figura 5.23 - Estatísticas de soluções (TRIZ/PCDs).....	233
Figura 5.24 - Propostas de soluções (PCDs).....	235
Figura B.1 - Padrões inventivos (melhorar o sistema).....	263
Figura B.2 - Padrões inventivos (mudança/deteccção e medida).....	264

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Matriz de Pugh.....	27
Tabela 2.2 - Matriz de Pugh ponderada.....	27
Tabela 2.3 - Escala fundamental de Saaty.....	30
Tabela 3.1 - Diferenças entre GPS e GLONASS.....	37
Tabela 3.2 - Características dos principais sistemas diferenciais.....	56
Tabela 3.3 - Principais características dos <i>cubesats</i> (CONASAT).....	63
Tabela 5.1 – Resumo das dificuldades do GPS.....	99
Tabela 5.2 - Elementos em conflito das contradições (GPS).....	100
Tabela 5.3 - Levantamento de recursos (GPS).....	103
Tabela 5.4 – Propostas de soluções (GPS).....	105
Tabela 5.5 – Critérios para análise das propostas iniciais (GPS).....	106
Tabela 5.6 – Matriz de Pugh com DATUM P1.....	107
Tabela 5.7 – Matriz de Pugh com DATUM P2.....	107
Tabela 5.8 – Matriz de Pugh com DATUM P3.....	108
Tabela 5.9 – Matriz de Pugh com DATUM P4.....	108
Tabela 5.10 – Matriz de Pugh com DATUM P5.....	109
Tabela 5.11 – Utilização da tabela de princípios inventivos (P1/P3).....	111
Tabela 5.12 – Histograma de princípios de engenharia (P1/P3).....	112
Tabela 5.13 – Aplicação dos princípios inventivos (P1/P3).....	112
Tabela 5.14 – Princípio de mudança de parâmetros/propriedades (P1/P3)....	113
Tabela 5.15 – Princípio de ação prévia (P1/P3).....	117
Tabela 5.16 – Princípio de substituição de meios mecânicos (P1/P3).....	118
Tabela 5.17 – Princípio de mudança de cor (P1/P3).....	119
Tabela 5.18 - Matriz de Pugh com DATUM P6.....	120
Tabela 5.19 - Matriz de Pugh com DATUM P7.....	120
Tabela 5.20 - Matriz de Pugh com DATUM P8.....	121
Tabela 5.21 - Matriz de Pugh com DATUM P9.....	121
Tabela 5.22 - Matriz de Pugh com DATUM P10.....	122
Tabela 5.23 - Princípio de segmentação ou fragmentação (P1/P3).....	123
Tabela 5.24 - Princípio de cópia (P1/P3).....	126
Tabela 5.25 - Matriz de Pugh com DATUM P11.....	126
Tabela 5.26 - Matriz de Pugh com DATUM P12.....	127
Tabela 5.27 - Matriz de Pugh com DATUM P13.....	127
Tabela 5.28 - Matriz de Pugh com DATUM P14.....	128
Tabela 5.29 - Matriz de Pugh com DATUM P15.....	128
Tabela 5.30 – Utilização da tabela de princípios inventivos (P1/P5).....	130

Tabela 5.31 – Histograma de princípios de engenharia (P1/P5).....	131
Tabela 5.32 - Aplicação dos princípios inventivos (P1/P5).....	131
Tabela 5.33 – Princípio de remoção ou extração (P1/P5).....	132
Tabela 5.34 – Princípio de mudança de simetria (P1/P5).....	133
Tabela 5.35 – Princípio de ação periódica (P1/P5).....	134
Tabela 5.36 – Princípio de uso e descarte (P1/P5).....	134
Tabela 5.37 – Utilização da tabela de princípios inventivos (P3/P5).....	136
Tabela 5.38 – Histograma de princípios de engenharia (P3/P5).....	137
Tabela 5.39 - Aplicação dos princípios inventivos (P3/P5).....	137
Tabela 5.40 – Princípio de inversão (P3/P5).....	138
Tabela 5.41 – Utilização da tabela de princípios inventivos (GERAL).....	140
Tabela 5.42 – Histograma de princípios de engenharia (GERAL).....	142
Tabela 5.43 - Aplicação dos princípios inventivos (GERAL).....	142
Tabela 5.44 - Princípio de transformação de prejuízo em lucro (GERAL).....	143
Tabela 5.45 – Princípio de mediação (GERAL).....	145
Tabela 5.46 – Resultado completo dos princípios de engenharia.....	146
Tabela 5.47 – Contradições envolvidas (GPS).....	151
Tabela 5.48 – Critérios do AHP.....	180
Tabela 5.49 - Classificação das propostas para seleção final.....	187
Tabela 5.50 - Propostas (seleção final/GPS).....	194
Tabela 5.51 - Resumo das dificuldades (PCDs).....	218
Tabela 5.52 - Elementos em conflito das contradições (PCDs).....	218
Tabela 5.53 - Levantamento de recursos (PCDs).....	220
Tabela 5.54 – Utilização da tabela de princípios inventivos (PCDs).....	222
Tabela 5.55 – Histograma de princípios de engenharia (PCDs).....	223
Tabela 5.56 - Aplicação dos princípios inventivos (PCDs).....	224
Tabela 5.57 – Propostas de soluções (PCDs).....	225
Tabela 5.58 – Princípio de substituição de meios mecânicos.....	226
Tabela 5.59 – Princípio de ação prévia.....	227
Tabela 5.60 – Princípio de cópia.....	228
Tabela 5.61 – Princípio de mudança de cor.....	228
Tabela 5.62 – Princípio de mudança de parâmetros/propriedades.....	229
Tabela 5.63 – Princípio de remoção ou extração.....	231
Tabela 5.64 – Princípio de qualidade localizada.....	231
Tabela A.1 – Exemplo de tabela de parâmetros de engenharia.....	261
Tabela B.1 – Subdivisão dos 76 princípios inventivos.....	263
Tabela A.1.1 – Referências às propostas (CONT/TRIZ/GPS).....	265
Tabela B.1.1 – Referências às propostas (<i>SuField</i> /TRIZ/GPS).....	267
Tabela C.1 – Princípios inventivos essenciais (CONT/TRIZ/GPS).....	269
Tabela D.1 – Contribuições do método <i>SuField</i> (TRIZ/GPS).....	271

Tabela E.1 – Referências às propostas (CONT/TRIZ/PCD).....	273
Tabela F.1 – Princípios inventivos essenciais (CONT/TRIZ/PCD).....	275

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABAS	Aircraft Based Augmentation System
ADF	Automatic Direction Finder
AEB	Agência Espacial Brasileira
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Analytic Network Process
ARGOS	Advanced Research and Global Observation Satellite
AS	Anti Spoofing
AX-25	Amateur X-25 (protocolo de comunicação de dados)
BEIDOU	Sistema de navegação por satélites da China
bps	Bits por segundo
C/A	Coarse Acquisition
CAT	Categoria
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CDMA	Code Division Multiple Access
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
cm	Centímetro
CMCD	Centro de Missão de Coleta de Dados
CNS/ATM	Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management
CONASAT	Constelação de Nanosatélites
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRN	Centro Regional do Nordeste

DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DGPS	Differential Global Positioning System
DH	Decision Height
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DoD	Department of Defense
DME	Distance Measuring Equipment
DNSS	Defense Navigation Satellite System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
E.U.A.	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Administration
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FTP	File Transfer Protocol
GAGAN	GPS Aided GEO Augmentation Navigation
GALILEO	Sistema de navegação por satélites da União Europeia
GBAS	Ground Based Augmentation System
GEOs	Satélites Geoestacionários
GHz	Giga-hertz
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite Russo
GNSS	Global Navigation Satellite Systems

GPS	Global Positioning System
GPSE	GPS System Support for Equatorial Regions
GPWS	Ground Proximity Warning System
GRAS	Ground Based Regional Augmentation System
HF	High Frequency
Hz	Hertz
IC	Índice de Consistência
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IEAv	Instituto de Estudos Avançados
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IFR	Ideal Final Result
ILS	Instrument Landing System
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IONEX	Ionosphere map Exchange
IR	Índice de Consistência Referente
IRI	International Reference Ionosphere
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
ITU	International Telecommunication Union
Kg	Quilo
Km	Quilômetro
Ku	Banda de frequências de 12 a 18 GHz (under K)
L	Banda de frequências de 1 a 2 GHz

LAAS	Local Area Augmentation System
LEO	Low Earth Orbit
m	Metro
MACHBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MARSP	Programa de Monitoramento Ambiental do Eixo Rio-São Paulo
MAUT	Multiple Attribute Utility Theory
MCS	Master Control Station
MEO	Medium Earth Orbit
MHz	Megahertz
MPI	Método de Princípios Inventivos
MSAS	Multi - functional Satellite Augmentation System
NAVSTAR	Navigation Satellite Timing And Ranging
NDB	Non - Directional Beacon
NNSS	Navy Navigation Satellite System
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OT	Operation Time
OZ	Operation Zone
P	Preciso ou Protegido (Código)
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PhC	Physical Contradiction
ppm	Partes por milhão
PPS	Precise Positioning Service
PN	Pseudorandom
PRN	Pseudorandom Binary Sequence

PZ	Parametry Zemli
RC	Razão de Consistência
RF	Radiofrequência
RFI	Resultado Final Ideal
S	Banda de frequência de 2 a 4 GHz
S/A	Selective Availability
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SBCDA	Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais
SCD	Satélite de Coleta de Dados
SDOP	Subdepartamento de Operações
SFR	Substance Field Resources
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINDA	Sistema Nacional de Dados Ambientais
SIVAM	Sistema de Vigilância da Amazônia
SNAS	Satellite Navigation Augmentation System
SPS	Standard Positioning Service
STs	Sistemas Técnicos
SuField	Método de campo e substância
TEC	Total Electron Content
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TRIZ	Theory of the Solution of Inventive Problem
TSIP	Theory of the Solution of Inventive Problems
TV	Televisão
UHF	Ultra High Frequency
UNESP	Universidade Estadual Paulista

UNIVAP	Universidade do Vale do Paraíba
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USAF	United States Air Force
UTC(SU)	Coordinated Universal Time (Soviet Union)
UTC(USNO)	Coordinated Universal Time (United States Naval Observatory)
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VHF	Very High Frequency
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Range
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WAAS	Wide Area Augmentation System
WADGPS	Wide Area Differential Global Positioning System
WGS	World Geodetic System

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Matriz de comparação
c	Velocidade da luz no vácuo
D	Diferença de tempo entre sinais de frequências diferentes
D_{rs}	Distância entre receptor e satélite
dt	Tempo de trânsito
d_1	Distância do ponto P para uma antena 1 (Zona de Fresnel)
d_2	Distância do ponto P para uma antena 2 (Zona de Fresnel)
dt_{rec}	Defasagem de sincronismo (relógio do receptor x T_{GPS})
dt_{sat}	Defasagem de sincronismo (relógio do satélite x T_{GPS})
eI	Elétron
f	Frequência
h	Altura do receptor até a camada irregular da ionosfera
I_f	Erro da observável de fase
I_g	Erro da observável de pseudo distância
L	Espessura da camada irregular da ionosfera
L_1, L_2	Frequências de satélites
n	Número de critérios do AHP
n	Número da zona de Fresnel
p	Medida real (distância entre receptor e satélite)
p_1, p_2	Posições obtidas com os códigos de frequência f_1 e f_2
P1, P2	Pontos sobre a superfície terrestre do método de cone <i>Doppler</i>
P_{dist}	Pseudo distância
R_n	Raio da enésima zona de Fresnel

r	Receptor
s	Satélite
T_1, T_2	Instantes de tempo do método de cone <i>Doppler</i>
T_{GPS}	Tempo de sincronismo dos relógios (satélites e receptores do GPS)
T_{pro}	Pseudo tempo
w	Vetor de prioridade
x_i, y_i, z_i	Coordenadas da trilateração
λ	Comprimento de onda de um sinal eletromagnético
λ_{max}	Maior autovalor da matriz A
\sim	Aproximadamente
$<$	Menor
$>$	Maior
\leq	Menor ou igual
\geq	Maior ou igual
$=$	Igual
$^\circ$	Grau

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO 1
2	INOVAÇÃO E MÉTODOS HEURÍSTICOS..... 5
2.1	Inovação..... 5
2.2	Métodos heurísticos..... 8
2.3	Teoria da Resolução de Problemas Inventivos (TRIZ) 9
2.3.1	Metodologia da TRIZ13
2.3.1.1	Método da matriz de contradição 16
2.3.1.2	Método do campo e substância (<i>Su Field</i>) 20
2.4	Matriz de Pugh 21
2.5	Processo Analítico Hierárquico (AHP).....28
3	SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO BASEADOS EM TECNOLOGIA DE SATÉLITES.....35
3.1	Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS) 38
3.1.1	Sistema de Posicionamento Global (GPS) 40
3.1.1.1	Segmento Espacial (GPS).....43
3.1.1.2	Segmento de Controle e Operações dos satélites (GPS).....45
3.1.1.3	Segmento de usuários (GPS).....46
3.1.1.4	Princípio básico (GPS).....47
3.1.2	Sistema Diferencial de Navegação Global por Satélites (DGNSS) ... 54
3.2	Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) 59
4	DEFINIÇÕES DAS PRINCIPAIS NECESSIDADES E PROBLEMAS TÉCNICOS 65
4.1	Principais necessidades do GPS..... 65

4.1.1	Empresas de aviação geral, navegação marítima e transportes.....	65
4.1.2	Aplicações científicas e militares.....	66
4.1.3	Aplicações diversas.....	66
4.2	Principais necessidades das PCDs.....	68
4.3	Problemas técnicos relacionados com a ionosfera (GPS e PCDs)...	69
5	UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS E DE INOVAÇÃO (GPS E PCDs).....	87
5.1	Propostas de soluções (GPS)	87
5.1.1	TRIZ (matriz de contradição) e Matriz de Pugh no GPS.....	87
5.1.1.1	Reconhecimento do problema (GPS).....	87
5.1.1.2	Análise do problema (GPS).....	100
5.1.1.3	Síntese dos conceitos de solução (GPS).....	112
5.1.2	TRIZ (método de campo e substância) e AHP no GPS.....	147
5.2	Propostas de soluções (PCDs).....	213
5.2.1	Aplicação da TRIZ (matriz de contradição) nas PCDs.....	213
5.2.1.1	Reconhecimento do problema (PCDs).....	213
5.2.1.2	Análise do problema (PCDs).....	218
5.2.1.3	Síntese dos conceitos de solução (PCDs).....	224
6	CONCLUSÃO	241
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	245
ANEXO A	EXEMPLO DE TABELA DE PARÂMETROS DE ENGENHARIA (CONT/TRIZ).....	261
ANEXO B	TABELAS DE PADRÕES INVENTIVOS (SUFIELD/TRIZ/GPS)	263
APÊNDICE A	TABELA DE REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS (CONT/TRIZ/ GPS).....	265

APÊNDICE B TABELA DE REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS (SUFIELD/ TRIZ/GPS).....	267
APÊNDICE C TABELA DE PRINCÍPIOS INVENTIVOS ESSENCIAIS (CONT/ TRIZ/GPS).....	269
APÊNDICE D TABELA DE CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO SUFIELD (TRIZ/ GPS).....	271
APÊNDICE E TABELA DE REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS (CONT/TRIZ/ PCD).....	273
APÊNDICE F TABELA DE PRINCÍPIOS INVENTIVOS ESSENCIAIS (CONT/ TRIZ/PCD).....	275

1. INTRODUÇÃO

A globalização gerou a redução das barreiras ao comércio internacional, fato que tornou a competição entre as empresas mais acirrada em nível local na maioria dos países. A facilidade cada vez maior de acesso à informação acelera o desenvolvimento científico e as mudanças em todas as áreas do setor produtivo. O consumidor está cada vez mais interessado em produtos com melhores relações custo-benefício. Estes fatos estão aumentando a pressão por novos produtos no setor produtivo e levam os empresários e a indústria a uma preocupação com a inovação tecnológica. Sem apoio de órgãos de ensino e pesquisa, as empresas geram inovações sem vínculos com estas instituições e o avanço é majoritariamente incremental, já que a maioria das empresas carece de recursos financeiros e humanos para gerar produtos radicalmente diferentes dos atuais. O ideal seria que os trabalhos acadêmicos fossem mais utilizados para resolver problemas técnicos, com consequente aumento nas taxas de inovação e maiores chances de criação de mercados inteiramente novos, voltados às necessidades das pessoas ainda não atendidas por qualquer produto já disponível. Houve inovações que geraram novos mercados, tanto nas empresas, universidades como nas entidades militares. Mas, infelizmente, as entidades de ensino e pesquisa ainda não estão voltadas prioritariamente à ciência aplicada.

Depois de identificada a necessidade mal atendida ou algo que funciona aquém do desejado, tem-se que resolver inúmeros problemas para melhorar efetivamente o desempenho dos produtos existentes ou criar produtos novos. Muitos cientistas se preocupam com este fato e desenvolveram métodos para resolver os problemas reais impostos no desenvolvimento destes novos produtos. Mas particularmente um cientista russo, chamado Genrich Saulovich Altshuller (ALTSHULLER, 1999) conseguiu lograr êxito com um método heurístico baseado em

patentes conhecido como TRIZ (*Theory of the Solution of Inventive Problems*).

No caso de uso de sistemas de localização por satélites, como o *Global Positioning System* (GPS) e do Sistema de Navegação Global por Satélite Russo (GLONASS), no auxílio a operações de aeronaves (CHUJO, 2007), há a questão de que os efeitos da ionosfera degradam sobremaneira a precisão de localização em determinados locais e horários. Como todo problema é também uma oportunidade, escolheu-se esta análise como um dos tópicos da presente dissertação; em particular, escolheu-se os métodos de TRIZ, Matriz de Pugh e AHP (*Analytic Hierarchy Process*) como ferramentas de análises principais da questão. Como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui plataformas de coletas de dados que também sofrem efeitos ionosféricos na sua comunicação e radiolocalização (importante no caso de boias oceânicas e balões), tem-se problemas correlatos e muitos resultados relativos à questão aeronáutica poderão ser utilizados na melhoria de operações destas plataformas.

De forma geral, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de utilização de métodos heurísticos e de inovação nos projetos de sistemas de posicionamento e coleta de dados baseados em tecnologia de satélites (Global Navigation Satellite Systems - GNSS/GPS e Plataformas de Coleta de Dados - PCDs), considerando os efeitos da ionosfera.

Para atingir o objetivo serão necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar revisão da literatura sobre inovação e métodos heurísticos para a busca de soluções inovadoras em problemas técnicos, com foco em TRIZ, Matriz de Pugh e AHP.

- b) Realizar revisão da literatura sobre sistemas de posicionamento (GNSS) e de coleta de dados do INPE (PCDs) baseados em tecnologia de satélites.
- c) Descrever as principais necessidades do GNSS/GPS e das PCDs, tendo como base as diversas aplicações destes sistemas.
- d) Realizar revisão da literatura sobre os possíveis efeitos da atmosfera (ionosfera) nos referidos sistemas.
- e) Utilizar TRIZ, Matriz de Pugh e AHP para a obtenção de uma solução inovadora que minimize ou exclua os efeitos causados pela atmosfera (ionosfera).
- f) Descrever as soluções finais para os dois casos (GNSS/GPS e PCDs) e as contribuições dos métodos da TRIZ, Matriz de Pugh e AHP.

2. INOVAÇÃO E MÉTODOS HEURÍSTICOS

2.1. Inovação

Para Jung (2004), os países que priorizam a pesquisa básica apresentam um alto grau de dependência tecnológica externa. Muitas vezes, o próprio conhecimento gerado por pesquisa básica em determinados países é utilizado por outros na geração de novas tecnologias através de pesquisas tecnológicas, as quais objetivam a aplicação do conhecimento básico para desenvolvimento de produtos, processos e patentes.

Segundo Tonelli e Zambalde (2005), um estudo realizado nos Estados Unidos aponta que menos de 10% dos novos produtos ou processos das empresas tiveram participação relevante de pesquisas acadêmicas, reforçando o conceito de que a maioria das inovações nasce na empresa. O desenvolvimento bem-sucedido de produtos ou processos exige um conhecimento de mercado e técnicas de produção, bem como a habilidade para reconhecer riscos técnicos e comerciais que só surgem com a experiência na empresa. As Universidades não têm esta expertise e não é coerente esperar que possam obtê-la rapidamente (MANSFIELD, 1996).

Mais ainda, segundo Christensen e Raynor (2003), o mais importante para que se desenvolva com sucesso um produto ou serviço é conhecer de fato o que o consumidor realmente deseja; assim, sempre que faltam atividades voltadas para entender o consumidor ou faltam ligações entre quem faz estas atividades e quem tenta desenvolver novos itens, não há como estes irem sistematicamente de encontro ao desejo do consumidor e, portanto, terem sucesso.

Após décadas dependendo de produtos e serviços externos, começaram a surgir iniciativas no Brasil orientadas para a inovação tecnológica. Através da chamada Lei de Inovação Tecnológica, o governo pretende

estimular a criação de ambientes especializados e cooperativos de inovação entre empresas e instituições científicas e tecnológicas. A Lei 10973, de 2 de dezembro de 2004 (BRASIL, 2004), organiza-se em torno de três vertentes: parcerias estratégicas, estímulo à participação de instituições de ciência e tecnologia e incentivo à inovação na empresa.

Devido aos fatores citados, os trabalhos relativos ao gerenciamento de projetos com inovação estão ganhando cada vez mais destaque. Porém, devido à grande quantidade de conhecimento disponível, os problemas técnicos também tendem a aumentar em função do aumento do número de projetos. Ou seja, quanto mais produtos disponíveis no mercado, maior a probabilidade dos mesmos necessitarem de constantes inovações incrementais. Muitos dos produtos passam por um processo de solução criativa de problemas em seu desenvolvimento. Os métodos tradicionais para essa solução (intuitivos e sistemáticos) nem sempre são suficientes.

No Brasil, o investimento das empresas em pesquisa e desenvolvimento é muito menor que o dos países desenvolvidos, talvez pelo fato de não trazer um retorno muito rápido. Há necessidade de maior intercâmbio entre as empresas e instituições públicas e privadas de ensino e pesquisa. Este é um passo essencial para que as pesquisas possam ser mais direcionadas para a inovação de produtos e que atenda à crescente evolução competitiva das empresas e aplicabilidade da pesquisa acadêmica. As universidades e institutos de pesquisa nem sempre protegem suas criações, e nem sempre têm recursos para as fases mais avançadas de desenvolvimento. Com menor acesso às ferramentas de *marketing*, estas instituições dificilmente divulgam seus produtos para permitir seu uso rotineiro. Universidades têm maior tendência a gerar inovações radicais que incrementais, conforme Laursen e Salter (2005), principalmente porque o sucesso de inovações incrementais tem maior dependência com o processo de produção e informações sobre o

desempenho do produto em campo que no caso de inovações radicais. Belderbos et al. (2004) destacam o papel da universidade em inovações radicais, ao afirmar que a cooperação entre empresas e universidades ou institutos de pesquisa geralmente visam inovações que abrem novos mercados e novos segmentos de mercado, sendo este fato confirmado por Tether (2002).

A inovação tecnológica pode ser analisada como um processo constituído por diversas fases, desde o surgimento da ideia, do desenvolvimento da tecnologia até a utilização da inovação pelo usuário. De forma genérica, durante a fase de desenvolvimento, o processo de inovação tecnológica passa pela pesquisa, desenvolvimento, avaliação, manufatura e disseminação (TORNATZKY; FLEISCHER, 1990). Uma inovação tecnológica pode ser incremental ou radical (FREEMAN, 1987). A inovação tecnológica incremental se adapta geralmente ao contexto da organização bem como a seus valores e crenças, necessitando de poucas adaptações nos processos já existentes para sua implementação. A inovação tecnológica radical introduz conceitos completamente novos na organização. Torna-se necessária a criação de novos processos e consequente extinção dos existentes, além de envolver (em alguns casos) a mudança de valores preconcebidos. Logicamente, a inovação tecnológica radical envolve muito mais incertezas, resistências e, conseqüentemente, riscos.

Druquer (1998) considera que a inovação deve ser uma prática sistemática e apresenta como fontes de inovação: pesquisa e desenvolvimento, ocorrências inesperadas, necessidades do processo, incongruências, mudanças no mercado ou indústria, mudanças demográficas, mudanças na percepção e novos conhecimentos. Etzkowitz e Leydesdorff (1997) destacam a interação entre universidade e empresa como fonte de inovações e base de um emergente paradigma sociológico de desenvolvimento econômico. Pode-se dizer que são

válidas e necessárias as tentativas de vincular a pesquisa acadêmica com as demandas do setor industrial, integrando a universidade como importante ator de desenvolvimento econômico e social de um país ou região. As diversas fontes de inovação e ideias criativas constituem um dos aspectos essenciais para o início de todo o processo. A experiência com projetos indica que a criatividade, que é uma habilidade natural, pode ser aperfeiçoada com metodologias. Desta forma, a probabilidade de produzir soluções originais e mais eficazes que as convencionais é muito maior. Criatividade refere-se à capacidade de resolver problemas de forma excepcionalmente competente e original. Consequentemente, as soluções deverão ser novas e os produtos adaptáveis e completamente desenvolvidos. A publicação da OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*), conhecida como Manual de Oslo (1997), define inovação como sendo “a introdução, com êxito, no mercado, de produtos, serviços, processos, métodos e sistemas que não existiam anteriormente, ou contendo alguma característica nova e diferente da até então em vigor”. Outra definição clássica é que inovação é toda e qualquer nova combinação de problema e solução que venha efetivamente a ser usada (MARTI; REINELT, 2011).

2.2. Métodos heurísticos

Segundo Bambace (2013), uma das possibilidades para a solução de problemas técnicos são os métodos heurísticos, termo oriundo da palavra *eureka* – descobri. Uma regra heurística deve ser uma regra clara, criada a partir da experiência para ajudar a se alcançar um resultado em uma atividade. Os métodos heurísticos são algoritmos exploratórios que buscam resolver problemas. Geralmente, não envolvem a implementação computacional de um conhecimento especializado. Uma solução ótima de um problema nem sempre é o alvo dos métodos heurísticos, uma vez que, tendo como ponto de partida uma solução viável, baseiam-se em sucessivas aproximações direcionadas a um ponto ótimo. Logo, estes

métodos costumam encontrar as melhores soluções possíveis para problemas e não soluções exatas, perfeitas, definitivas.

Desenvolveu-se, desde o século passado, uma corrente de pensamento criativo que se baseia na identificação e sistematização de princípios inventivos que estão presentes em todas as invenções ou inovações. Um oficial de marinha e engenheiro russo, Genrich Saulovich Altshuller, nascido em 1926 na antiga URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas), procurou na literatura existente alguma espécie de método para inventar, que o mesmo acreditava existir. Porém, não encontrou nenhum método que atendesse às suas expectativas e concluiu que ele mesmo teria que desenvolvê-lo. Ainda no colégio naval inventou, desenvolveu e testou um dispositivo de resgate de submarinos que gerava oxigênio a partir de peróxido de hidrogênio, permitindo a estes voltar a ter controle de mergulho em episódios críticos. Altshuller recebeu um certificado de autoria por esta invenção. A capacidade inventiva precoce de Altshuller fez com que ele se tornasse um consultor da marinha de guerra russa para a área de invenções, inovações e sua proteção legal. (ALTSHULLER, 1999; DEMARQUE, 2005)

2.3. Teoria de Resolução de Problemas Inventivos (TRIZ)

Segundo revisão da literatura (ALTSHULLER, 1999; DEMARQUE, 2005; CARVALHO, 2008; BAMBACE, 2013) a TRIZ foi então desenvolvida por Genrich Saulovich Altshuller, na década de 40, junto com seu colega Rafael Shapiro. Posteriormente Altshuller continuou o trabalho sozinho e, alguns anos mais tarde, passou a contar com a ajuda de alunos e simpatizantes. A sigla é um acrônimo para “*Theoriya Resheniya Izobretatel’skikh Zadatch*”, que pode ser traduzida do russo para a expressão em português como "Teoria de Resolução de Problemas Inventivos". A TRIZ também é conhecida por: “*Theory of the Solution of Inventive Problems – TSIP*” ou “*Systematic Innovation*”.

O enfoque de Altshuller, desde o princípio, diferenciou-se dos métodos de gerenciamento de projetos tradicionais desenvolvidos no Ocidente, como o *brainstorming* e outros. Altshuller concentrou-se no estudo dos produtos (patentes), em vez de considerar os processos e seus desenvolvedores, mesmo que fossem muito criativos. Ele procurou definir e analisar os processos envolvidos na obtenção das soluções inventivas contidas nas patentes. Estudou 200 mil certificados de autoria e selecionou 40 mil com as soluções mais inovadoras, no período de 1946 a 1948. O partido comunista não aprovou a sua teoria e somente na década de 80, Altshuller pode divulgá-la no meio científico. Com o surgimento de escolas que ensinavam a referida teoria, muitos alunos e simpatizantes puderam ajudar em seu desenvolvimento. Desde o tempo em que passou a trabalhar sozinho, o engenheiro dedicou mais de cinquenta anos ao seu desenvolvimento, vindo a falecer em 1998, quando seus colaboradores continuaram os estudos.

A sua teoria baseia-se no fato de que todo problema tem um conflito técnico ou físico, chamado por ele de contradição. Geralmente, utilizando-se métodos convencionais de soluções de problemas não se aborda a sua contradição básica, que é o fator que gera necessidade de uma compensação, ou seja, de balancear atributos de forma que, ao se melhorar um fator, não se piore em demasia outro fator do produto. A determinação precisa das contradições ajuda a solucionar o problema, por definir melhor o foco e objetivos. A aplicação de soluções comuns que já tiveram sucesso em outros problemas melhora e acelera o processo de inovação, ou seja, a inspiração não precisa ser necessariamente randômica.

Altshuller fez uma nova proposta baseado no fato de que não devemos compensar e, sim, eliminar a contradição. Este condensou os problemas e as contradições, ao buscar por soluções de problemas inventivos. Problema inventivo pode ser definido como aquele cuja solução faz gerar

outro problema. Por exemplo, o aumento da potência de um motor pode aumentar a seu peso. Outro exemplo pode ser encontrado na informática: quanto mais fácil o acesso a um sistema, menor a sua segurança. Quanto mais funções um sistema possui, geralmente maior é o seu tamanho. Porém, a eletrônica e informática têm contribuído de forma relevante para a eliminação de várias contradições. O telefone celular é um bom exemplo: suas dimensões têm diminuído apesar da agregação de novas funções, como fotografia, GPS, música, etc.

A TRIZ é uma metodologia sistemática que evoluiu a partir do século XX, orientada ao ser humano, e pode ter aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento como administração, *marketing* e outras áreas das ciências humanas. Esta metodologia incorporou vários conceitos e ferramentas usadas para apoiar os inventores e solucionadores de problemas e possui grande aplicação na engenharia, sendo que o propósito inicial de seu criador era desenvolver um método para inventar. Com a sua crescente utilização, as organizações não necessitarão depender somente de " gênios criativos " ou processos intuitivos como o *brainstorming*. Muitos profissionais de diversas áreas poderão ser treinados para solucionar problemas complexos, formando eficientes equipes multidisciplinares (NÓBREGA; LIMA, 2010).

As conclusões apontam para o fato de que, na busca de soluções, principalmente da área técnica, geralmente depara-se com dois tipos de problemas:

- a) problema com solução conhecida: de maior facilidade para serem resolvidos com as fontes de informação disponíveis; e
- b) problema de solução complexa (indecifrável): a solução encontrada pode conduzir a um novo problema.

O método enfatiza a segunda opção que são os problemas com soluções fora do campo de conhecimento de uma só pessoa, com soluções

desconhecidas ou que contém requisitos contraditórios. O seu objetivo principal foi o de obter inovações em projetos, acompanhando os avanços da ciência e tecnologia e permitindo trabalhar com problemas de engenharia de uma maneira sistemática, ou seja, a busca da solução do problema pode iniciar do nível mais elementar e chegar ao nível mais avançado. Deve-se notar que as pessoas têm muita dificuldade de usar soluções de outras áreas, restringindo o campo de busca de soluções e, que resolvido um problema principal, há sempre a chance de aparecerem outros problemas (em geral, menores) que também têm de ser resolvidos.

Altshuller mostrou que as invenções não acontecem por acaso, de acordo com o método da tentativa e erro, defendido por Thomas Edison, o qual afirmou que um gênio seria “1% de inspiração e 99% de transpiração”, frase esta repetida à exaustão por toda a sociedade contemporânea. Altshuller também chegou à conclusão de que a maioria das inovações recaem sobre quatro grandes áreas do conhecimento: mecânica, química, eletromagnética e termodinâmica, ressaltando que em torno de 95% das invenções foram solucionadas fora do seu campo original de conhecimento.

Finalmente, o cientista constatou que a mesma solução foi utilizada mais de uma vez em várias invenções, com anos de diferença, em muitos casos. Esta constatação levou o pesquisador a concluir também que, se os meios de acesso aos princípios fundamentais de solução de problemas estivessem disponíveis aos inventores, com certeza o processo de inovação seria mais eficiente e ágil, considerando que o intervalo de tempo entre uma invenção e outra poderia ser bem menor. Mais ainda, que não se pode desistir de buscar soluções para um problema antes de se esgotar todas as combinações de princípios de solução, que por serem muitos nem sempre são integralmente considerados. A busca por uma solução em campos de conhecimento distintos torna-se difícil e complexa, devido à inércia psicológica que move os indivíduos a confiar na sua

especialidade e experiência adquiridas ao longo do tempo, o que faz com que a sua criatividade possa ser bloqueada com base nesses fatos.

2.3.1 Metodologia da TRIZ

Segundo Bambace (2013), Carvalho (2008), Ferreira e Forcellini (2006), Filho (2010), a metodologia mostra que inventividade e criatividade podem ser ensinadas ao determinar a melhor forma de criarmos uma solução para o problema. Atualmente, há muitos praticantes da TRIZ no mundo inteiro, principalmente em países da antiga URSS. Em função do regime comunista, que dificultou a troca de informações com os países do ocidente, a TRIZ passou a ser difundida somente por volta dos anos 90, porém há um crescente interesse por esta metodologia. A TRIZ teve um impacto positivo no meio científico em geral e foi utilizada por diversas entidades como *Boeing*, *FORD* e *United State Air Force – USAF*, dentre outras.

O processo criativo consiste em identificar os princípios inventivos que podem ser aplicados a um problema específico, gerar uma solução genérica e adaptá-la ao problema real. Os princípios inventivos funcionam como direcionadores do processo de geração de ideias.

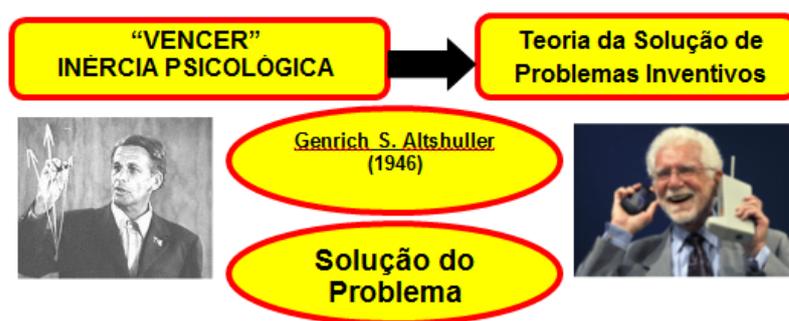


Figura 2.1 – Processo criativo segundo Altshuller

Fonte: Adaptado de Ferreira e Forcellini (2006)

Este método disponibiliza várias ferramentas alternativas para maximizar a chance de obterem-se soluções realmente eficazes a um problema sem qualquer recurso adicional ou com o mínimo de recursos possível. As mais importantes são:

- a) o método da matriz de contradição;
- b) o método do campo substância;
- c) as leis de evolução de sistemas;
- d) a questão de idealidade; e
- e) os métodos de separação.

O Método de Princípios Inventivos (MPI) foi idealizado por Altshuller e é o mais difundido dos métodos da TRIZ. Princípios Inventivos são heurísticas ou sugestões de possíveis soluções para um determinado problema. A forma mais simples de utilização dos princípios inventivos é o uso direto, que consiste em simples análise de cada um dos princípios e a tentativa de aplicá-los para a melhoria do sistema estudado.

A abordagem do MPI tem por base o fato de que muitos dos problemas que encontramos já foram resolvidos num sentido genérico. Considera que há um número limitado de princípios inventivos e, conseqüentemente, o foco da solução do problema é formulá-lo corretamente e usar um ou mais dos princípios inventivos já catalogados para resolvê-lo. Altshuller classificou as soluções apresentadas para problemas técnicos em cinco níveis:

- a) NÍVEL 1 - Solução padrão - está dentro dos limites do conhecimento técnico normal existente (cerca de 32% das soluções encontradas situam-se neste nível).

- b) NÍVEL 2 - Mudança do sistema - solução encontrada para problemas mais difíceis, que requerem um esforço e estudo suplementar (envolve 45% das soluções propostas).
- c) NÍVEL 3 - Inovação - solução procurada fora do campo de conhecimento técnico disponível (engloba 18% das soluções).
- d) NÍVEL 4 - Invenção - solução encontrada com base em fenômenos físico-químicos raramente utilizados (apenas 4% das soluções enquadram-se neste nível).
- e) NÍVEL 5 - Descoberta - solução baseada num novo fenômeno físico-químico (somente 1% das soluções pertencem a esta categoria).

Altshuller observou que, para a solução por tentativa e erro dos níveis 1 a 5, as pessoas precisavam de um número de tentativas entre 10^{n-1} e 10^n , para n o nível da solução. Segundo o inventor, a tentativa e erro não pode ser um método aceitável para a solução de problemas de maior nível de dificuldade. Segundo Carvalho e Back (2001) a TRIZ clássica - desenvolvida por Altshuller e seus colaboradores - é composta por métodos para a formulação/solução de problemas e uma base de conhecimento e leis da evolução dos Sistemas Técnicos (STs). Os conceitos fundamentais da TRIZ são idealidade, contradição e recursos. A idealidade de um ST é a razão entre o benefício de funções desejadas e o prejuízo de funções indesejadas que o sistema executa. O próprio ST é entendido, na TRIZ, como um dilema pela execução de funções desejadas por seus usuários. A partir do conceito de idealidade, é definido o RFI (Resultado Final Ideal) como sendo uma solução à qual se pretende chegar, mais próxima do ideal que a solução atual.

2.3.1.1 Método da matriz de contradição

Segundo Altshuller (1999), Nóbrega e Lima (2010), Bambace (2013), toda vez que, ao mudar-se um item do sistema, melhora-se uma característica do mesmo e deteriora-se outra, tem-se uma contradição técnica (ligada à solução em análise) ou contradição física (intrínseca ao problema). Eliminar a contradição permite melhorar ambos os itens, excluindo soluções de compromisso. Este é o objetivo da matriz de contradição, cuja sequência dos passos é apresentada na Figura 2.2:

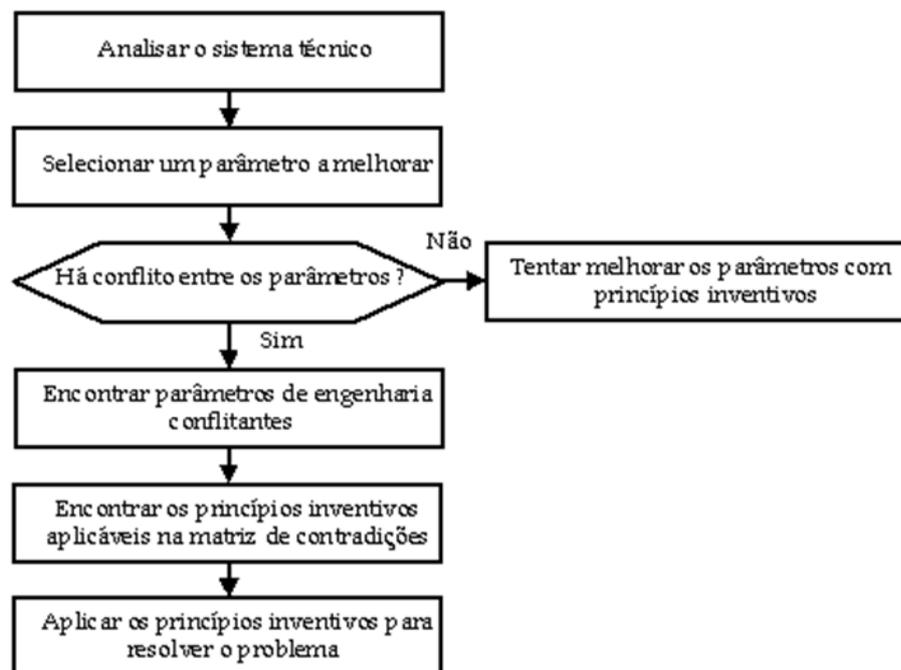


Figura 2.2 - Sequência operacional do método da matriz de contradição

Fonte: Portal do conhecimento (2008)

Após análise do problema técnico, procura-se o parâmetro ou parâmetros de engenharia a melhorar de acordo com a Figura 2.3. Se não houver conflito entre os mesmos, os princípios inventivos da Figura 2.4 poderão ser utilizados diretamente. Tabelaando ações que podem ser implementadas (por exemplo: segmentar, remover, mudar a simetria, unir,

inverter e outras) e dando a cada ação um número, pode-se utilizar a tabela de princípios inventivos (Figura 2.4) a fim de superar as contradições. Caso ocorram conflitos, eles serão analisados entre si conforme Figura 2.5.

1	Peso do objeto móvel	2	Peso do objeto estacionário	3	Comprimento do objeto móvel	4	Comprimento do objeto estacionário
5	Área do objeto móvel	6	Área do objeto estacionário	7	Volume do objeto móvel	8	Volume do objeto estacionário
9	Velocidade	10	Força	11	Tensão ou pressão	12	Forma
13	Estabilidade da composição do objeto	14	Resistência	15	Duração da ação do objeto móvel	16	Duração da ação do objeto estacionário
17	Temperatura	18	Brilho	19	Energia gasta pelo objeto móvel	20	Energia gasta pelo objeto estacionário
21	Potência	22	Perda de energia	23	Perda de substância	24	Perda de informação
25	Perda de tempo	26	Quantidade de substância	27	Confiabilidade	28	Precisão de medição
29	Precisão de fabricação	30	Fatores prejudiciais atuando no objeto	31	Fatores prejudiciais causados pelo objeto	32	Manufaturabilidade
33	Conveniência de uso	34	Mantenabilidade	35	Adaptabilidade	36	Complexidade do objeto
37	Complexidade de controle	38	Nível de automação	39	Capacidade ou produtividade		

Figura 2.3 - Parâmetros de engenharia

Fonte: Carvalho (2008)

1	Segmentação ou fragmentação	2	Remoção ou extração	3	Qualidade localizada	4	Mudança de simetria
5	União ou consolidação	6	Universalização	7	Aninhamento	8	Contrapeso
9	Compensação prévia	10	Ação prévia	11	Amortecimento prévio	12	Equipotencialidade
13	Inversão	14	Recurvação	15	Dinamização	16	Ação parcial ou excessiva
17	Transição para nova dimensão	18	Vibração mecânica	19	Ação periódica	20	Continuidade da ação útil
21	Aceleração	22	Transformação de prejuízo em lucro	23	Retroalimentação	24	Mediação
25	Auto-serviço	26	Cópia	27	Uso e descarte	28	Substituição de meios mecânicos
29	Construção pneumática ou hidráulica	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis	31	Uso de materiais porosos	32	Mudança de cor
33	Homogeneização	34	Descarte e regeneração	35	Mudança de parâmetros e propriedades	36	Mudança de fase
37	Expansão térmica	38	Uso de oxidantes fortes	39	Uso de atmosferas inertes	40	Uso de materiais compostos

Figura 2.4 - Princípios inventivos

Fonte: Carvalho (2008)

Todo e qualquer conflito técnico envolve duas grandezas (parâmetros de engenharia) do sistema de forma que se pode gerar matrizes onde cada item técnico aparece duas vezes, uma como título de coluna e outra como título de linha. No cruzamento dos dois itens diferentes tem-se um local para se lançar os números das ações que resolvem melhor o conflito técnico entre as variáveis em questão, conduzindo aos princípios inventivos. Na *internet* pode-se achar uma planilha de Excel que lista automaticamente os princípios relevantes, ou software *TRIZ Doctor* que faz histogramas em casos de múltiplos conflitos, ou ainda a *home page* TRIZ 40 (SOLID CREATIVITY, 2015). Um exemplo da tabela de princípios inventivos se encontra no Anexo A.

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Resultado Indesejado (Conflito)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Parâmetro a melhorar</div> </div>		Peso do objecto em movimento	Peso do objecto parado	Comprimento do objecto em movimento	Comprimento do objecto parado	Área do objecto em movimento	Área do objecto parado	Volume do objecto em movimento	Volume do objecto parado
No		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Peso do objecto em movimento	+		15, 8, 29,34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28	
2	Peso do objecto parado		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2
3	Comprimento do objecto em movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35	
4	Comprimento do objecto parado		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2,14
5	Área do objecto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4	
6	Área do objecto parado		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+		

Princípios Inventivos

Figura 2.5 - Amostra da matriz de contradição

Fonte: InnoSupport (2015)

Na linguagem da TRIZ, produto é o item físico ou processo que não se deseja alterar, e ferramenta outro item que atua sobre o produto que pode sofrer alterações. Para aumentar a eficiência do uso da informação do sistema de matriz de contradição e princípios inventivos, Altshuller recomenda seguir oito passos, segundo Kucharavy (2006).

- a) Descrever a necessidade de melhorar o sistema atual com uma análise abrangente, enfatizando a dificuldade de satisfazer a necessidade com os métodos tradicionais.

- b) Resumir as dificuldades com os métodos tradicionais na forma de contradições.
- c) Definir os elementos em conflito (produto/ferramenta) para cada contradição apontada.
- d) Colocar a contradição escolhida na forma: precisa-se melhorar o parâmetro [A] de modo a atender a necessidade [b], mas com isto se deteriora o parâmetro [B]. (A e B obtidos na Figura 2.3).
- e) Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou eliminar (resultado indesejado) [B].
- f) Ir para a linha da matriz com o título [A] e procurar a coluna de título [B], e aplicar os princípios inventivos listados na célula M[A],[B]. (Figura 2.5). Na célula M[A],[B] estarão os números dos princípios inventivos, cujos títulos encontram-se na Figura 2.4.
- g) Aplicar a lista de princípios inventivos.
- h) Interpretar as recomendações de uso de princípios inventivos/ações e listar conceitos de funcionamento de soluções sem detalhá-las.

2.3.1.2 Método de campo e substância (*SuField*)

Outra técnica que pode ser utilizada relaciona-se com a análise de substâncias, campos e outros recursos, que não estão sendo utilizados naquele momento e podem ser encontrados dentro do sistema ou em suas proximidades. Altshuller propôs a utilização de diferentes substâncias e campos que ajudam a resolver as contradições e aumentar a idealidade de um sistema técnico, porém a TRIZ usa definições de substâncias e campos não padronizadas.

Esta análise, denominada *SuField*, é uma linguagem especial de elementos gráficos, por meio da qual é possível descrever facilmente

qualquer sistema tecnológico, em termos de um modelo estrutural específico. Em outras palavras, é um método analítico de modelar uma situação - problema em uma zona de operação (OZ) durante um tempo de operação (OT) de acordo com uma contradição formulada. O conceito básico desta metodologia é: a transformação de qualquer substância material só ocorre por iteração com outra substância ou fator físico (campo, força e outros) e envolve energia. O objetivo final é gerar um modelo gráfico independente de realidade física, nomenclaturas e termos técnicos do sistema. Altshuller achou 76 ações de grande potencial de melhoria de sistemas descritos neste sistema gráfico, as quais chamou de padrões inventivos (Anexo B). O método de campo e substância produz soluções mais perto da idealidade que as soluções advindas do uso de princípios isolados, e é mais efetivo que o método da matriz de contradição, já que este último não induz ao uso de soluções compostas.

A TRIZ pode ser complementada com *brainstorm*, sendo recomendável este auxílio em cada uma de suas etapas. O detalhamento ajuda a encontrar melhores soluções e detectar de modo mais eficiente as falhas. A análise de diversos princípios permite maior número de combinações, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a possibilidade de combinações de princípios úteis. Assim, a melhor ou melhores soluções não aparecem de imediato, devendo-se explorar os passos mencionados (BORZA et al., 2007).

2.4 Matriz de Pugh

Conforme revisão da literatura (PUGH, 1991, 1987; BAMBACE, 2013), o método de decisão multicritério mais antigo que se conhece é o de atribuir um peso a cada critério. O cálculo da nota da opção é a soma dos produtos dos pesos de cada critério por uma nota relativa a seu desempenho em cada critério. Como isto pode ser arbitrário quando

alguém ou mais de uma pessoa têm interesses velados não alinhados com o objetivo da decisão, este método logo foi melhorado. Primeiro, obrigou-se a classificar os critérios e, mais tarde, as soluções quanto à nota em cada critério, obrigando as notas e pesos a possuírem uma soma única. Esta soma deveria ser concordante com a classificação dos atributos (por importância) ou das soluções (quanto a atender bem cada atributo). Somente este fato não resolveu a questão e surgiram diversos métodos multicritérios como o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ANP (*Analytic Network Process*), MAUT (*Multiple Attribute Utility Theory*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*), MACHBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) entre outros. Estes métodos podem ser quantitativos (envolvendo notas) ou de exclusão sucessiva (*out ranking*). Como mencionado no objetivo da presente dissertação, além da TRIZ, serão aplicados dois métodos multicritérios: matriz de Pugh e AHP.

O método de Pugh surgiu como um método híbrido, de exclusão sucessiva ou notas. A matriz de Pugh foi desenvolvida por Stuart Pugh na década de 90. Este era professor da Universidade de *Strathclyde*, em *Glasgow*. É também conhecida por outros nomes como método de Pugh, análise de Pugh, método de matriz de decisão, matriz de decisão, grade de decisão, grade de seleção, matriz de seleção, matriz problema, análise de oportunidades, além de outros derivados. O seu autor percebeu dois fatores críticos na seleção multicritério: nem sempre era possível levantar todos os atributos importantes para o produto ou opção financeira antes do início da seleção e, do mesmo modo, não se conseguia levantar sempre todas as soluções interessantes ao problema antes de iniciar as comparações. Em casos financeiros (como nos investimentos em ações, imóveis, renda fixa e outros) o objetivo é o lucro, mas nem sempre os riscos elevados são aceitos. Pode-

se fazer uma carteira com composições de itens de vários tipos de investimentos e mesmo as ações têm classificações variadas como *blue chips* (mercado de ações), novas empresas e outras possibilidades. Avaliar todas significa testar um número alto de combinações que pode não interessar, havendo a possibilidade de combinar uma opção ruim demais com outra semelhante. Em virtude destes fatos, o método de Pugh evoluiu para uma seleção com muitas rodadas, as quais são detalhadas abaixo.

- a) Inicia-se com um dado número de critérios e um número de opções maior que o número de critérios, preferencialmente um total de opções em torno do dobro do número de critérios.
- b) Escolhe-se uma solução mediana como referência e, antes de se fazer qualquer escolha, analisa-se os prós e contras de opções pela comparação par a par.
- c) Se duas soluções são uma melhor e outra pior que a referência em um critério e tem situação inversa em outro, que providências podem ser tomadas para que se tenha uma ou mais soluções que, sem perder a vantagem de uma das soluções em um dos critérios, elimine sua desvantagem no outro? Esta pergunta ajuda a conceber opções alternativas e crescer o número de opções.
- d) Quando já se melhorou muito o conjunto de opções, é pouco provável que se achem mais opções e, mesmo que elas sejam encontradas, não há como analisar imediatamente se estas opções são boas ou ruins quanto aos critérios ainda não estudados. Como há necessidade de novas buscas de alternativas com mais critérios, fica pouco eficaz tentar achar todas as opções possíveis em uma só etapa e a busca pode ser encerrada.
- e) Terminada a busca, eliminam-se as soluções mais fracas e se aumenta o número de critérios ou vice-versa.

Rapidamente, a área de desenvolvimento de produtos percebeu que esta metodologia era extremamente eficaz nas decisões de desenvolvimento e o foco do método mudou. Este conceito aparentemente simples teve um impacto muito grande no desenvolvimento de produtos, a ponto de um dos livros mais citados pela corrente do “ *lean development* ” ser o livro de Pugh, intitulado *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, o qual possui uma quantidade relevante de citações no *Google Acadêmico*, sendo que e empresas americanas estão adotando esta metodologia.

O método de Pugh geralmente é utilizado em trabalho de equipe, seja de forma presencial, com todos atuando em conjunto em algum lugar, como por correspondência convencional ou eletrônica (podem ocorrer exceções nos trabalhos acadêmicos individuais, principalmente quando há a possibilidade de gerar patentes). O tempo que leva uma equipe de desenvolvimento para analisar as pontuações e fatores de ponderação é geralmente muito mais curto e mais barato em comparação com a implantação da solução errada em um projeto. Um *ranking* dos critérios ajuda a concentrar mais os esforços da equipe nos mais relevantes. Em vez de simplesmente listar os aspectos positivos e negativos de cada opção, um por um, uma matriz das necessidades e conceitos ajuda a identificação de múltiplos fatores ao mesmo tempo e fornece à equipe uma visão holística das necessidades e alternativas. A seguir serão descritos os passos necessários para a implementação do método.

- a) Desenvolver um conjunto de critérios baseados em desejos e necessidades do cliente.
- b) Melhorar estes critérios, incluindo qualquer item de natureza funcional.
- c) Desenvolver um grupo de conceitos de *design* que são destinados a satisfazer os critérios.

- d) Usar uma simples matriz – lista de critérios à esquerda e os conceitos na parte superior à direita, com esboços para ilustrar cada um desses conceitos.
- e) Selecionar um dos conceitos como linha de base.
- f) Avaliar cada conceito em relação a cada um dos critérios. Determinar se é melhor (+), neutro (0) ou pior (-) do que a linha de base. Alternativamente, pode-se atribuir um -1, 0, 1 com base em como cada escolha se comportaria em relação a um conjunto de critérios relacionados. Pode-se atribuir a cada um deles um peso e obter o composto da pontuação do critério para determinar a melhor alternativa.
- g) Gravar as decisões na matriz.
- h) Para cada coluna, determinar o número total de vantagens, desvantagens e neutros. Como alternativa, verificar a soma da pontuação multiplicada pelo peso do critério.
- i) Trabalhar para melhorar esses conceitos que mais pontuaram, incorporando ideias criativas de outros conceitos.
- j) Continuar o processo de sintetizar conceitos.

A referência (*Datum*) ideal é aquela em que a diferença do número de itens com itens marcados com (+) e (-) seja a mais perto de zero possível. Cada comparação par a par pode gerar um problema simples de TRIZ, em que as contradições são claras e a solução de vários deles ajuda a conhecer melhor o universo de soluções e prepara as pessoas para uma abordagem mais aberta onde surgirão muitas contradições simultaneamente. O número de soluções de problemas de TRIZ não depende das alternativas disponíveis na matriz de Pugh, mas do número de contradições que ela indica e suas combinações. Assim, pode-se ir além deste número, usando combinações de opções de solução para aquecer a capacidade de trabalho com a TRIZ. Uma vez feita a avaliação de cada conceito em relação ao conceito de referência, faz-se a

contagem do número total de sinais (+) e (-). Quanto mais sinais (+) tiver o conceito, melhor ou mais competitivo é o produto ou proposta de solução. O próximo passo quando se trata de desenvolvimento é tentar gerar novas soluções que eliminem os pontos fracos de uma solução, sem deteriorar seus pontos fortes.

Se uma solução é melhor que a de referência num item A e pior que ela em um item B e, outra solução é melhor que a referência no item B e pior no item A, a comparação entre estas duas soluções gera automaticamente uma contradição referente a melhorar:

- a) o item A sem piorar o B de uma delas; ou
- b) melhorar o item B sem piorar o item A.

Assim, a matriz de Pugh e a TRIZ são extremamente complementares e muito eficientes quando usadas conjuntamente. Isto feito até a exaustão entre as soluções iniciais e também entre as soluções geradas no processo. Esta combinação permite explorar bem o espaço de soluções para um dado conjunto preliminar de requisitos. Quando deixa de ser eficaz achar novas soluções, deve-se eliminar da matriz os conceitos mais fracos, conforme já mencionado, que são aqueles com grande quantidade de sinais (-) e escolher outro conceito de referência, a fim de repetir todo o procedimento até a definição do conceito mais forte. Em sistemas com muitas especificações, não é recomendado se trabalhar direto com todas elas, e sim crescer o número de especificações após cada rodada de eliminação de soluções e redefinição da referência, ou então aumentar as especificações e fazer o corte, já que pode haver soluções incompatíveis com as novas especificações, e escolher em seguida a nova referência. (DESIGN@DEVELOP, 2013).

Tabela 2.1 - Matriz de Pugh.

PUGH	SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA	I	II	III
Tamanho		-	+	-
Estrutura		0	0	0
Estética	D	0	+	-
Organização	A	-	+	+
Fluidez	T	+	0	-
Legibilidade	U	-	+	+
Total +	M	1	4	2
Total -		-3	0	-3
Total Global		-2	4	-1

Fonte: Adaptado de Slideshare (2014)

A seguir, um exemplo de atribuição de pesos aos critérios:

Tabela 2.2 - Matriz de Pugh ponderada.

PUGH	PESO	I	II	III
Tamanho	5	-	+	-
Estrutura	3	0	0	0
Estética	4	0	+	-
Organização	2	-	+	+
Fluidez	3	+	0	-
Legibilidade	5	-	+	+
Total +		3	0	7
Total -		-12	16	-12
Total Global		-9	16	-5

Fonte: Adaptado de Slideshare (2014)

Dependendo do número de critérios e das variáveis, a ponderação que foi utilizada pode provocar resultados finais muito diferentes.

Finalmente, esta matriz é uma técnica quantitativa utilizada para classificar as opções de um conjunto de soluções. É geralmente usada na engenharia para a tomada de decisões de *design*, mas também pode ser usada para classificar as opções de investimento, de fornecedores, de

produtos ou qualquer outro conjunto de entidades multidimensionais. A vantagem da mesma está no fato de permitir que opiniões subjetivas sobre uma alternativa em relação a outra possa ser quantizada, tornando-se mais objetiva. Através da Teoria de Jogos, pode-se provar que a matriz de Pugh é um processo extremamente robusto quanto à ação de “ditadores”, “lobistas”, pessoas que fazem “advocacia administrativa” de interesses externos e pessoais. Possui muitas etapas, regras claras e trabalho em grupo com muitas pessoas (nas instituições) e deve ser bem documentada (um alto nível de transparência).

Vale ressaltar que o uso de qualquer opção quantitativa, pesos para critérios ou outros, pode ser feita dentro da Matriz de Pugh. Os exemplos mostrados não esgotam o uso de opções quanto a este tipo de avaliação, já que qualquer método de decisão multicritério existente pode ser usado para comparar e selecionar as melhores soluções. As soluções eventualmente muito boas quanto a um número restrito de atributos podem ser inviáveis mais à frente com mais atributos, e assim surgiu a ideia de manter um número grande de soluções eficazes para que, no final do processo, tenha-se uma chance razoável de uma solução adequada. Quanto mais perto do fim, mais difícil de comparar as soluções sem uso de qualquer ferramenta, gerando a necessidade de uso de métodos multicritérios cada vez mais elaborados ao longo do processo.

2.5 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

Conforme Vianna (2015), Saaty (1980, 2005), o Processo Analítico Hierárquico, do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP, foi desenvolvido por Thomas L. Saaty, na década de 70, com o objetivo de decompor a complexidade de métodos multicritérios, identificando objetos e ideias e as relações entre eles. Tem como base a representação de um problema complexo através de uma estruturação hierárquica, partindo do pressuposto de um objetivo global. AHP utiliza a decomposição do

sistema em vários níveis para possibilitar a visualização do sistema como um todo e seus componentes. A capacidade de conversão de dados empíricos em um modelo matemático é uma das principais vantagens do AHP em relação aos outros métodos mencionados. Após a construção da hierarquia lógica, os gerentes de projeto avaliam os critérios e alternativas por meio de comparação (dois a dois). Para melhor compreensão, o método será exposto por etapas.

Etapa 1: Construção da hierarquia de decisão

A construção da hierarquia obedece também a alguns critérios, enunciados a seguir:

- a) depende dos objetivos escolhidos para decompor a complexidade daquele sistema;
- b) o objetivo principal deve estar no primeiro nível da hierarquia; logo após os subobjetivos, os critérios e as alternativas; e
- c) na estruturação dos critérios deve existir uma homogeneidade entre os critérios do mesmo nível (mesmo nível de importância).

Etapa 2: Comparação entre os elementos da hierarquia

A escala mais utilizada de relativa importância entre duas alternativas foi proposta por Saaty, 2005.

A comparação obedece aos passos a seguir:

- a) o primeiro ponto a ser considerado é a determinação de uma escala de valores para comparação, que não deve exceder um total de nove fatores, a fim de se manter a matriz consistente;
- b) atribuindo valores entre 1 a 9, a escala determina a importância relativa de uma alternativa com relação à outra;
- c) normalmente, utilizam-se os números ímpares da tabela para assegurar razoável distinção entre os pontos da medição;

- d) o uso dos números pares só deve ser adotado quando não houver consenso; e
- e) essa análise deve ser feita para cada nível da hierarquia.

Tabela 2.3 - Escala Fundamental de Saaty

1- Empatou 1/n – Perdeu n - Ganhou		Critério para o n depende da fase do processo	
VALORES	RELEVÂNCIA	INÍCIO	FINAL
3	Importância pequena de uma sobre a outra	INTUIÇÃO/ EXPERIÊNCIA	LÓGICA CLARA
5	Importância grande ou essencial	LÓGICA CLARA	CÁLCULOS
7	Importância muito grande ou demonstrada	CÁLCULOS	TESTES
9	Importância absoluta	TESTES	TESTES EXAUSTIVOS
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários		

Fonte: Adaptado de Vianna (2015)

Etapa 3: Prioridade relativa de cada critério

Esta etapa visa normalizar os valores da matriz de comparações, ou seja, igualar todos os critérios a uma mesma unidade.

Etapa 4: Avaliar a consistência das prioridades relativas

A próxima etapa é o cálculo a Razão de Consistência (RC) obtido pela fórmula a seguir.

$$\boxed{RC = IC/R} \quad (2.1)$$

Sendo :

RC – Razão de quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos completamente aleatórios;

IC – Índice de Consistência;

IR - Índice de consistência referente a um grande número de comparações em dupla efetuadas (índice aleatório calculado e tabelado para matrizes quadradas de ordem n pelo Laboratório Nacional de *Oak Ridge*, nos EUA - Estados Unidos da América), definido em função do número de critérios).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	≥15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

O IC, por sua vez, pode ser obtida pela fórmula:

$$\boxed{IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)} \quad (2.2)$$

Sendo:

λ_{\max} - representa o maior autovalor da matriz A, cujos elementos a_{ij} são os valores de comparação par a par entre diversas soluções ou diversos critérios, definidos conforme a Tabela 2.3.

n - número de critérios

Esta matriz é obtida com o estabelecimento de prioridades entre os elementos para cada nível da hierarquia (matriz de comparação), segundo a escala fundamental de Saaty. A seguir, um exemplo de matriz de comparação com número de critérios igual a 3 ($n=3$) e valores de escala de 1 a 7.

	VIABILIDADE	CUSTO	INFRAESTRUTURA
VIABILIDADE	1	3	5
CUSTO	1/3	1	7
INFRAESTRUTURA	1/5	1/7	1

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 \end{vmatrix}$$

Finalmente, λ_{\max} é calculado por:

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (2.3)$$

Sendo:

A - matriz de comparação.

w – vetor de prioridade (média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada obtida anteriormente)

Observação: Se o RC é superior a 0,1 os julgamentos não são absolutamente confiáveis. Se maiores que 0,5 há total certeza de desvios no processo.

Etapa 5: Construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas

Todos os procedimentos para a construção da matriz de comparação e para a determinação da prioridade relativa de cada critério devem ser feitos novamente, agora para as opções de execução.

Etapa 6: Obter a prioridade composta para as alternativas

Nesta última etapa, obtêm-se as prioridades compostas das alternativas, multiplicando os valores anteriores e os das prioridades relativas, obtidos no início do método.

Após a exposição dos métodos heurísticos que serão utilizados, ressalta-se que a escolha foi fundamentada na revisão da literatura e na melhor adaptação aos problemas técnicos em pauta. As análises e pontuações das propostas de solução deverão ser realizadas de forma subjetiva e individual, considerando que a presente dissertação é um trabalho acadêmico, visando futuras patentes. Porém, todos os métodos terão como fundamento a revisão da literatura e outras informações disponíveis, conforme bibliografia apresentada.

3. SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO BASEADOS EM TECNOLOGIA DE SATÉLITES

O homem sempre apresentou interesse em localizar-se, iniciando pelas redondezas de seu lar e ampliando para locais de trabalho e outras atividades. Assim, conquistar novas fronteiras com deslocamento seguro, exigia o conhecimento de seu posicionamento durante todo o trajeto, tanto na terra como no mar ou no ar. Por muito tempo o Sol, os planetas e as estrelas foram pontos de referência na orientação. Porém, as condições climáticas podiam significar a diferença entre o sucesso e o fracasso de um deslocamento, iniciando o desenvolvimento de instrumentos de apoio à orientação, sendo a bússola um dos primeiros; este simples invento chinês proporcionou uma verdadeira revolução na arte de localização, nas mais diversas situações. Com as grandes descobertas, no século XIV, o homem passou a utilizar a navegação (cartografia náutica), a qual foi empregada inicialmente para realizar o mapeamento das novas rotas marítimas. O astrolábio foi outro instrumento usado para localização, porém possibilitava apenas a obtenção da latitude, sujeita a grande margem de erro e limitações, pois a medição só podia ser realizada à noite e com boa visibilidade. A determinação da longitude foi considerada o maior problema científico do século XVIII e, mesmo com os melhores instrumentos, a navegação celeste só proporcionava valores aproximados da posição. O advento da navegação aérea trouxe uma forma de locomoção mais rápida e segura de um ponto a outro e as primeiras aeronaves utilizavam-se da navegação visual. Com a revolução tecnológica, houve o advento da era espacial, iniciando-se com lançamentos de satélites e a utilização dos mesmos para o posicionamento geodésico.

A Guerra Fria contribuiu para o início do desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS) em 1973. A navegação por satélite foi iniciada pela Marinha norte-americana quando criou, em 1960, um

sistema para navegação de precisão por satélite denominado *Navy Navigation Satellite System* (NNSS). O DoD (*Department of Defense*) decidiu incluir os programas desta área em uma única estratégia chamada *Defense Navigation Satellite System* (DNSS). Quando os primeiros satélites a carregar relógios atômicos, um de rubídio e outro de césio, foram lançados, surgiu o GPS; em fevereiro de 1978, o primeiro satélite GPS foi lançado (PRASAD; RUGGIERI, 2005; MISRA; ENGE, 2001). Assim, o GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, originalmente para fins militares, liberado com restrições para uso civil em 1977.

Além do GPS há o sistema de navegação denominado GLONASS em operação, o qual é mantido pela Federação Russa. Apesar de o primeiro satélite GLONASS ser lançado em 12 de outubro de 1982, o sistema foi declarado oficialmente operacional somente em 24 de setembro de 1993 e tem 24 satélites operacionais. (LAGO et al., 2002)

Tendo em vista todos os problemas e limitações do GPS, os países da União Europeia decidiram unir forças e recursos para criar o seu próprio sistema, o GALILEO (Sistema de navegação por satélites da União Europeia). Os dois primeiros satélites, apelidados de " validação em órbita ", foram lançados em outubro de 2011, seguidos por outros dois, um ano mais tarde. Pela primeira vez, em março de 2013, uma posição no solo foi determinada utilizando os quatro satélites atualmente em órbita e as instalações terrestres associadas a eles. O sistema GALILEO deve estar com capacidade operacional até o ano de 2019 e deverá atingir também o número de 24 satélites operacionais.

Também há o sistema BEIDOU (Sistema de navegação por satélites da China), que tem uma constelação de cobertura restrita em testes e funcionando bem, e que planeja cobertura global já para 2020 com 35 satélites. Assim, até 2020, estarão disponíveis 107 satélites; atualmente

podem ser somente 24 acessíveis pelos usuários do GPS que eventualmente não acessem o GLONASS por compatibilidade de equipamentos (GUALDINO, 2011).

Apesar de os principais sistemas atualmente em operação serem o GPS e GLONASS, há diferenças entre os mesmos, as quais serão mencionadas no desenvolvimento da presente dissertação.

As diferenças nas características espaciais do GPS e do GLONASS, no que se refere à quantidade de planos orbitais (6 para o GPS e 3 para o GLONASS) e inclinação das órbitas, proporcionam diferenças na disponibilidade de satélites em função da latitude. Desta forma, o GLONASS oferece melhor cobertura nas latitudes extremas enquanto que o GPS favorece as latitudes médias. (LAGO et al.,2002, pg.39)

Tabela 3.1- Diferenças entre GPS e GLONASS.

	GLONASS	GPS
Número de satélites	24	24
Número de planos orbitais	3	6
Inclinação dos planos orbitais	64,8°	55°
Semi-eixo maior da órbita	25510 km	26560 km
Frequência fundamental (f_0)	5,11 MHz	10,23 MHz
Técnica de separação do sinal	FDMA	CDMA
Frequência portadoras (MHz)		
L1	de 1602,0 a 1615,5	1575,42
L2	de 1246,0 a 1256,5	1227,60
Frequência códigos (MHz)		
C/A	0,511	1,023
P	5,110	10,23
Efemérides transmitidas Pelos satélites	Coordenadas Cartesianas Geocêntricas e suas derivadas	Elementos Orbitais Keplerianos e seus fatores de Perturbação
Tempo de referência	UTC (SU)	UTC (USNO)
Sistema de referência	PZ-90	WGS-84*

Fonte: Lago et al. (2002)

3.1 Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS)

Chujo (2007) descreve o GNSS como um dos principais elementos da navegação aérea, constituindo a base do aprimoramento da mesma com suas características de cobertura global e de maior acurácia. Atualmente, O GNSS é o resultado da junção dos sistemas de navegação global como GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU. Eles têm a finalidade de garantir aperfeiçoamentos na geometria, disponibilidade para todas as regiões do globo terrestre, integridade e segurança. Operacionalmente, as tecnologias GNSS são formadas pelo GPS e pelo GLONASS, que disponibilizam 24 satélites operacionais cada um, mas com limitações de acesso a ambos os sistemas em diversos equipamentos homologados.

Os GNSS são capazes de prover informações de tempo e posição com acurácia (exatidão) em todo o mundo, porém com limitação de cobertura nas regiões polares. Apesar do nível de desenvolvimento alcançado com as tecnologias GNSS, atender completamente aos requisitos de desempenho estabelecidos pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) para os sistemas de navegação, principalmente nos pousos e decolagens, é um grande desafio devido aos parâmetros de acurácia, integridade, continuidade e disponibilidade. (CHUJO; WALTER, 2006).

Os sistemas aeronáuticos são os mais críticos para aplicações GPS, considerando que as estatísticas demonstram que os acidentes ocorrem com mais frequência nos pousos e decolagens. O ILS (*Instrument Landing System*) é um sistema de pouso ou aterragem por instrumentos que dá uma orientação precisa ao avião que esteja na fase de aproximação final de uma determinada pista. Ele consiste em dois sistemas distintos; um deles mostra a orientação lateral do avião em relação à pista (*localizer*) e o outro mostra o ângulo de descida, ou orientação vertical (*glideslope*). É um sistema baseado na transmissão de sinais de radiofrequência (R.F.) que são recebidos, processados e

apresentados nos instrumentos de bordo do avião. A aproximação ILS é também chamada de “Aproximação de Precisão” (*Precision Approach*), por contar com as informações do Localizador em VHF (*Very High Frequency*) e do *Glide Slope* em UHF (*Ultra High Frequency*), fornecendo informações para o alinhamento com o eixo da pista e com a trajetória correta de planeio para o pouso.

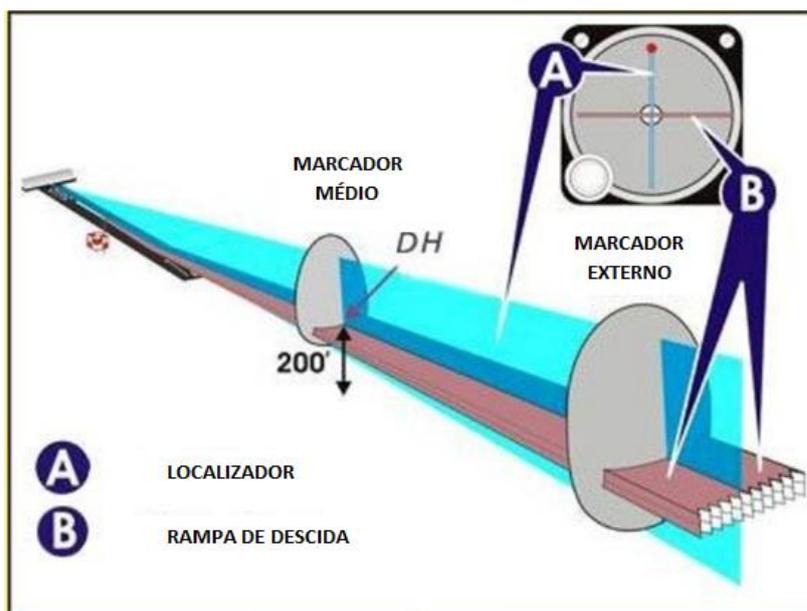


Figura 3.1 - Operação do ILS

Fonte: Chujo (2007)

Operações de aproximação e pouso de precisão são divididos em categorias, de acordo com as seguintes características:

- a) CATEGORIA 1 (CAT I) - acurácia de 16,5 m na horizontal e 3,4 m na vertical no momento do toque; teto de visibilidade de 200 pés (60,96 m) e 1800 pés (548,64 m) de visada na horizontal.
- b) CATEGORIA II (CAT II) - requerem acurácia de 6,5 m na horizontal e 1,6 m na vertical; teto de visibilidade de 100 pés (30,48 m) e visada horizontal mínima de 1200 pés (365,76 m).

- c) CATEGORIA III (CAT III): 4,1 m na horizontal e 0,5 m na vertical, com alturas de decisão respectivamente de 110, 50 e zero pés, e requisitos de visibilidade de 700, 150 e zero pés respectivamente para as categorias A, B e C onde o avião tem de ser capaz de aterrissar com o piloto automático e controlar o empuxo dos motores na categoria A, frear (automaticamente) na B, e taxiar até a parada (automaticamente) na C.

Como principal representante do GNSS, tanto os sistemas GPS baseados na banda L_1 , como na banda L_2 não obtêm esta precisão com medidas isoladas, de forma que há necessidade de se combinar medidas de GPS com informações de outras fontes para que as operações de pouso possam ser feitas com apoio deste sistema ou similares. Em especial, os sistemas por satélite podem ter sua precisão degradada por efeitos da ionosfera, interferências, reflexões e multi-caminhos (CHUJO; WALTER, 2006; PARKINSON et al., 1996).

3.1.1 Sistema de Posicionamento Global

Conforme Ogaja (2011), Monico (2000), Figueirêdo (2005), Fiorio et al. (2013), Deines (2006), o GPS é um sistema de abrangência global que tem proporcionado muitos benefícios para as atividades que necessitam de posicionamento. Este sistema permite que um usuário (em qualquer local da superfície terrestre ou próximo a ela) tenha à sua disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados, caracterizando o posicionamento em tempo real. O GPS é denominado oficialmente NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing And Ranging GPS*). A rede de satélites GPS é gerenciada e operada pela Força Aérea dos E.U.A. para fornecer informações de navegação de alta precisão, inicialmente para aplicações militares de suas forças armadas em todo o mundo. Porém, a aplicação obteve tanta demanda (principalmente para produtos

comerciais), que cerca de 90% dos usuários de GPS em todo o mundo são usuários civis. Além disso, o GPS apresenta outras vantagens como:

- a) não há necessidade de intervisibilidade entre as estações (linha de visada não é mais necessária);
- b) pode ser utilizado em qualquer momento do dia ou da noite sob quaisquer condições climáticas (cobertura global com disponibilidade contínua de 24h por dia);
- c) o princípio básico de navegação pelo GPS é relativamente simples, consistindo na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites (são obtidas informações de latitude/ longitude/ altitude);
- d) conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites (mesmo código no satélite e no receptor); e
- e) a precisão de trilateração direta menor ou igual a 100 metros em 95% do tempo.

O histórico do GPS está relacionado com o GNSS :

- a) os primeiros satélites do GPS foram lançados no período de 1978 a 1985 para testes (Bloco I – 1ª geração), sendo que a constelação ficou totalmente operacional no período de 1989 a 1997 - Blocos II e IIA (*Advanced*) - 2ª geração;
- b) as gerações seguintes, de 1997 a 2012 - Blocos IIR (*Replenishment*) e IIF (*Follow-on*) da 3ª e 4ª gerações - foram empregadas para reposição, alterações, operações e manutenção de reabastecimento; e
- c) a geração atual é a quinta e deverá possuir capacidades além dos satélites do Bloco IIF.

No GPS há dois tipos de serviços, apresentando as seguintes características:

- a) SPS (*Standard Positioning Service*- Serviço de Posicionamento Padrão): está disponível a todos os usuários do globo (precisão de 40 a 100 m); e
- b) PPS (*Precise Positioning Service* - Serviço de Posicionamento Preciso): restrito ao uso militar e a usuários autorizados (acurácias de 1 a 20 m).

O GPS é constituído por três componentes: o segmento espacial, segmento de controle e operação dos satélites, e segmento de usuários.

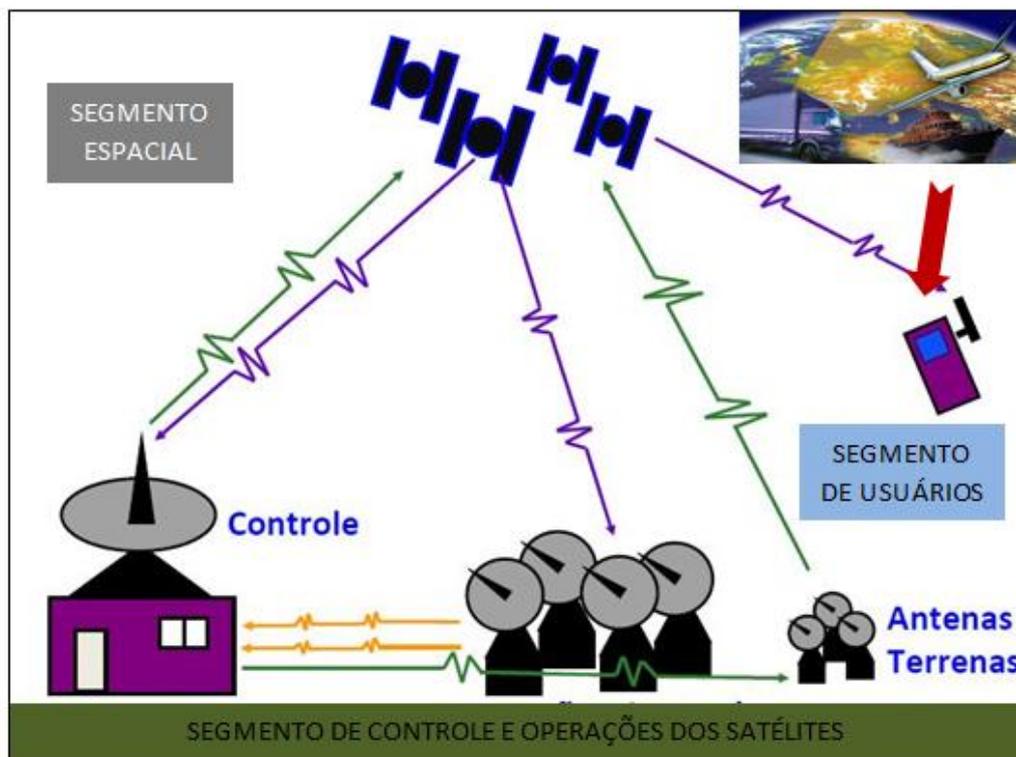


Figura 3.2 - Componentes do GPS

Fonte: Adaptado de Ogaja (2011)

3.1.1.1. Segmento Espacial (GPS)

O segmento espacial é uma rede de satélites espaciais em órbita da Terra apresentando órbitas previsíveis e igualmente espaçadas a uma altitude de cerca de 20.200 km. Consiste de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, com planos orbitais inclinados 55° em relação ao Equador, sendo o período orbital de aproximadamente 12 horas siderais. Os satélites geoestacionários orbitam a Terra na altitude de 35.786 km, valor bem maior que os satélites GPS. A constelação de órbitas de GPS foi concebida de modo que, no mínimo, quatro satélites estejam visíveis em qualquer lugar na Terra, a qualquer momento.

Cada satélite carrega padrões de frequência altamente estáveis (césio e rubídio) formando uma referência de tempo muito precisa. O satélite GPS de dupla frequência transmite duas ondas portadoras (L_1 e L_2), as quais são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz:

a) $L_1 = 1575,42$ MHz e $\lambda \cong 19$ cm; e

b) $L_2 = 1227,60$ MHz e $\lambda \cong 24$ cm.

Os códigos que formam o PRN (*Pseudorandom Binary Sequence*) são modulados, em fase, sobre essas duas portadoras. Essa técnica permite realizar medidas de distância a partir da medida do tempo de propagação da modulação (LEICK, 1995). Um PRN é uma sequência binária de +1 e -1, ou 0 e 1, que parece ter característica aleatória; como é gerado por um algoritmo, pode ser identificado mais facilmente. Tratam-se basicamente dos códigos C/A e P detalhados a seguir.

a) Código C/A (*Coarse Acquisition*- aquisição grosseira), com comprimento de onda por volta de 300 m, é transmitido a uma razão de 1,023 MHz. Ele é gerado a partir do produto de duas sequências PN (*Pseudorandom* - pseudoaleatórias), denominadas

G1 e G2, cada uma com período de 1.023 bits. O código C/A resultante também consistirá de 1.023 bits, com período de 1 ms.

- b) Código P (*Precise or Protected* - preciso ou protegido) tem sido reservado para uso dos militares americanos e dos usuários autorizados. Ele é transmitido com frequência f_0 de 10,23 MHz, o que corresponde a uma sequência de 10,23 milhões de dígitos binários por segundo, resultando num comprimento de onda da ordem de 30 m. Esse comprimento de onda, menor que o do código C/A, faz que as medidas resultantes do código P sejam mais precisas.

A cada satélite é atribuído um determinado PRN, que é modulado nas portadoras L_1 e L_2 . Portanto, todos os satélites que transmitem na mesma frequência podem ser identificados pelo código exclusivo de cada satélite. Trata-se da técnica denominada CDMA (*Code Division Multiple Access* - Múltiplo Acesso por Divisão do Código), válida tanto para o código C/A como para o código P (PARKINSON et al., 1996). O Código Y ou AS (*Anti Spoofing*) é gerado a partir de uma equação secreta e tem função controlar o uso do sistema. Além do código Y ou AS, o DoD incluía um erro proposital na mensagem enviada pelo satélite conhecida como “*Selective Availability*” ou S/A. A deterioração da acuracidade do SPS foi abolida do sistema em maio de 2000, melhorando algo em torno de dez vezes o seu nível.

A portadora L_1 é modulada com os códigos C/A e P, sendo a L_2 apenas com o código P. A portadora L_2 tem a principal função de corrigir o relógio do satélite, melhorando assim os cálculos do posicionamento. As portadoras trazem também moduladas, numa taxa de 50 bps, as mensagens de navegação que contém os parâmetros orbitais, os dados para a correção da propagação ionosférica, os parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, informações sobre a operação dos satélites e outros dados necessários.

3.1.1.2. Segmento de Controle e Operação dos satélites (GPS)

O Segmento de Controle visa manter a integridade do sistema GPS, a qual depende da manutenção dos satélites em órbita, sendo essencial o monitoramento dos mesmos. Há uma Estação de Controle Mestre (MCS) em *Colorado Springs* e 10 estações de monitorização ao redor do mundo (cada satélite pode ser visto a partir de pelo menos duas estações). Cada estação monitora é equipada com oscilador externo de alta precisão e receptor de dupla frequência, o qual rastreia todos os satélites visíveis e transmite os dados para a MCS, pelo sistema de comunicação. Os dados são processados na MCS para determinar e atualizar periodicamente as efemérides transmitidas (*broadcast ephemeris*), que são as mensagens de navegação como as órbitas dos satélites, correções dos relógios, a informação *Doppler* e outras. A MCS é operada pela Força Aérea dos E.U.A ininterruptamente, rastreando todos os satélites em suas órbitas específicas e coletando os dados dos mesmos. As informações de efemérides são enviadas para o satélite em um formato compacto utilizando elementos keplerianos, a fim de simplificar o processo de prever o órbitas dos satélites. Assim, as principais tarefas do segmento de controle são: monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites, determinar o sistema de tempo GPS, prever as efemérides dos satélites, calcular as correções dos relógios, atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite, controlar a degradação do sinal e lançar novos satélites.

O DoD sempre teve conhecimento do potencial de precisão do GPS e a possibilidade de obter-se posicionamentos mais precisos, que não podem estar livremente disponíveis por questões de segurança. A precisão dada pelo GPS é função do equipamento utilizado na operação de modo a garantir a repetibilidade dos resultados. As estatísticas no posicionamento absoluto com GPS (na banda L_1), apontam para precisões da ordem de:

- c) ~100 m em 95% a 98% do tempo;
- d) < 50 m em 65% do tempo; e
- e) < 40 m em 55% do tempo.

3.1.1.3. Segmento de usuários (GPS)

O terceiro segmento é composto dos usuários dos sinais GPS em qualquer lugar na Terra ou no espaço. É constituído pelos receptores civis e militares do GPS, que devem ser adequados a cada uso específico. Atualmente, há uma grande quantidade de receptores no mercado civil, para as mais diversas aplicações. Os principais componentes de um receptor GPS são: antena com pré-amplificador, seção de RF (radiofrequência), microprocessador, memória, amostragem e processamento dos dados, oscilador, interfaces e sistema de energia. A antena deve ter boa sensibilidade, para garantir a recepção de sinal fraco e o padrão de ganho deve permitir recepção em todas as elevações e azimutes visíveis. Segundo Seeber (2003), um dos tipos de antenas mais usados é o de micro-linha, ideal para equipamentos GPS de pequeno porte. Os sinais GPS são muito fracos, tendo aproximadamente a mesma potência que os de TV, transmitidos por satélites geoestacionários. A razão pela qual os receptores GPS não necessitam de uma antena de dimensão igual à das parabólicas tem muito a ver com a estrutura dos sinais e a capacidade dos receptores em captá-las. A captação dos sinais GPS está mais concentrada no receptor do que na antena propriamente dita. Uma das desvantagens dos sinais GPS é que os mesmos sofrem interferências quando passam através da maioria das estruturas. Porém, algumas combinações de antena/receptor são capazes de captar sinais recebidos dentro de casas de madeira, sobre o painel de controle de veículos e na janela de aviões. Naturalmente, é recomendado que as antenas sejam montadas com um amplo ângulo de visada, sem obstrução. Sob folhagem densa, particularmente quando úmida, os sinais

GPS são atenuados, de tal modo que muitos tipos e pares de antena e receptor apresentam dificuldades em captá-las.

3.1.1.4. Princípio básico (GPS)

Segundo Figueirêdo (2005), o princípio básico de funcionamento do GPS consiste na equação:

$$D_{rs} = c \times T_{GPS} \quad (3.1)$$

Sendo: D_{rs} a distância entre receptor e satélite; c a velocidade de propagação das ondas eletromagnética e T_{GPS} o tempo preciso ao qual todos os relógios, dos satélites e dos receptores, deveriam estar em sincronismo. As pseudo distâncias podem ser calculadas em tempo real pelos receptores, sendo a equação básica para determinação do tempo de propagação:

$$T_{pro} = dt + dtrec - dtsat \quad (3.2)$$

Sendo: T_{pro} o pseudo tempo que será utilizado no cálculo da pseudo distância; dt o tempo medido pelo receptor na defasagem dos códigos; $dtrec$ a defasagem de sincronismo entre o relógio do receptor e o T_{GPS} ; e o $dtsat$ é a defasagem de sincronismo entre o relógio do satélite e o T_{GPS} . Multiplicando ambos lados da equação pela velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas c , resulta:

$$Pdist = c \cdot dt + c \cdot dtrec - c \cdot dtsat \quad (3.3)$$

Sendo $Pdist$ a pseudo distância que se deseja obter para os cálculos de posição.

O GPS funciona em um sistema de eixos cartesianos, tridimensional centrado no elipsoide terrestre. Iniciando a análise em um sistema

bidimensional, pode-se identificar, na Figura 3.3 dois pontos $S_1(x_1, y_1)$ e $S_2(x_2, y_2)$ como sendo dois satélites no espaço, e o ponto $P(x, y)$ como sendo a posição do receptor para o qual se deseja calcular suas coordenadas x e y . As posições dos satélites definidas por x_1, y_1, x_2 e y_2 são transmitidas pelos satélites, ou calculadas pelo receptor, a partir das mensagens de navegação.

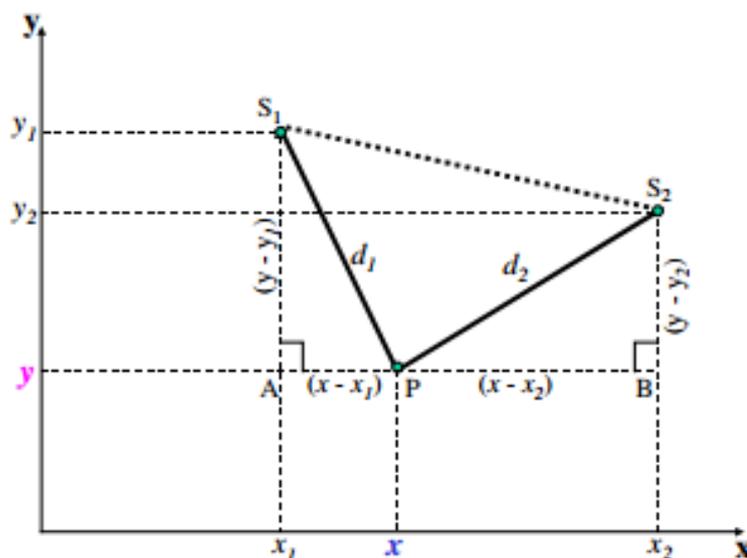


Figura 3.3 – Sistema bidimensional das posições de satélites do GPS

Fonte: Figueirêdo (2005)

Pela relação dos triângulos retângulos:

$PA = x - x_1 $	$PA = x - x_2 $	(3.4)
$AS_1 = y - y_1 $	$AS_1 = y - y_2 $	

$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2$	(3.5)
$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2$	

Com os cálculos efetuados pode-se obter sistemas de duas equações cuja solução nos leva às duas incógnitas x e y que são justamente as coordenadas do ponto P . Em três dimensões, em um sistema de eixos ortogonais (XYZ) e com um 3º satélite:

$$\begin{aligned}
 d_1^2 &= (x - x_1^2) + (y - y_1^2) + (z - z_1^2) \\
 d_2^2 &= (x - x_2^2) + (y - y_2^2) + (z - z_2^2) \\
 d_3^2 &= (x - x_3^2) + (y - y_3^2) + (z - z_3^2)
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

O erro de sincronismo do relógio do receptor é resolvido com a inclusão de um quarto satélite ao processo:

$$\begin{aligned}
 d_1^2 &= (x - x_1^2) + (y - y_1^2) + (z - z_1^2) + c \cdot dtrec \\
 d_2^2 &= (x - x_2^2) + (y - y_2^2) + (z - z_2^2) + c \cdot dtrec \\
 d_3^2 &= (x - x_3^2) + (y - y_3^2) + (z - z_3^2) + c \cdot dtrec \\
 d_4^2 &= (x - x_4^2) + (y - y_4^2) + (z - z_4^2) + c \cdot dtrec
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Sendo ***dtrec*** (erro de sincronismo do relógio do receptor) a quarta incógnita a ser resolvida pelo sistema; ***c*** é a velocidade da onda portadora; e as coordenadas **x_i** , **y_i** , **z_i** são as coordenadas conhecidas dos satélites GNSS utilizados. Os receptores GPS atuais têm capacidade de rastrear mais de quatro satélites e chegam a captar dados de até doze satélites simultaneamente. Resolvendo-se este sistema de quatro equações e quatro incógnitas (x , y , z e *dtrec*) tem-se a posição do receptor (STRANG; BORRE, 1997).

Considerando-se que um usuário do sistema, com um receptor de GPS, esteja necessitando localizar-se e inicialmente admite-se que há informações da localização de alguns satélites no espaço; a triangulação poderá ser entendida geometricamente pela descrição e figura a seguir.

No plano as informações de três satélites são suficientes para definir uma localização.



Figura 3.4 - Trilateração GPS no plano

Fonte: Oficina da net (2013)

No espaço tridimensional deverá ocorrer a seguinte sequência de localização:

- a) Se o receptor estiver a três distâncias do satélite (por exemplo 20.000 km, 21.000 e 22.000 Km), significa que há três superfícies esféricas imaginárias que estão centrada nos satélites e cujas esferas possuem os raios informados.
- b) Pela intersecção das três esferas pode-se reduzir a área de incerteza a apenas dois pontos no espaço. A distinção entre os dois pontos é que um deles se encontra em uma posição impossível de se aceitar, normalmente localizado a uma grande distância da Terra.

c) Com 4 satélites, na ausência de erros, ter-se-ia apenas uma intersecção comum entre a circunferência da intersecção das duas primeiras superfícies esféricas e as superfícies esféricas dos dois últimos satélites.

A defasagem entre os dois códigos (o recebido e o gerado no receptor) possibilita determinar o tempo de trânsito do sinal transmitido pelo satélite, desde que haja um perfeito sincronismo entre os relógios do satélite e o do receptor. O GPS usa códigos pseudoaleatórios de Gold na banda L_1 , de 1023 chips que são repetidos a cada milissegundo, resultando em uma banda de 1023 MHz .

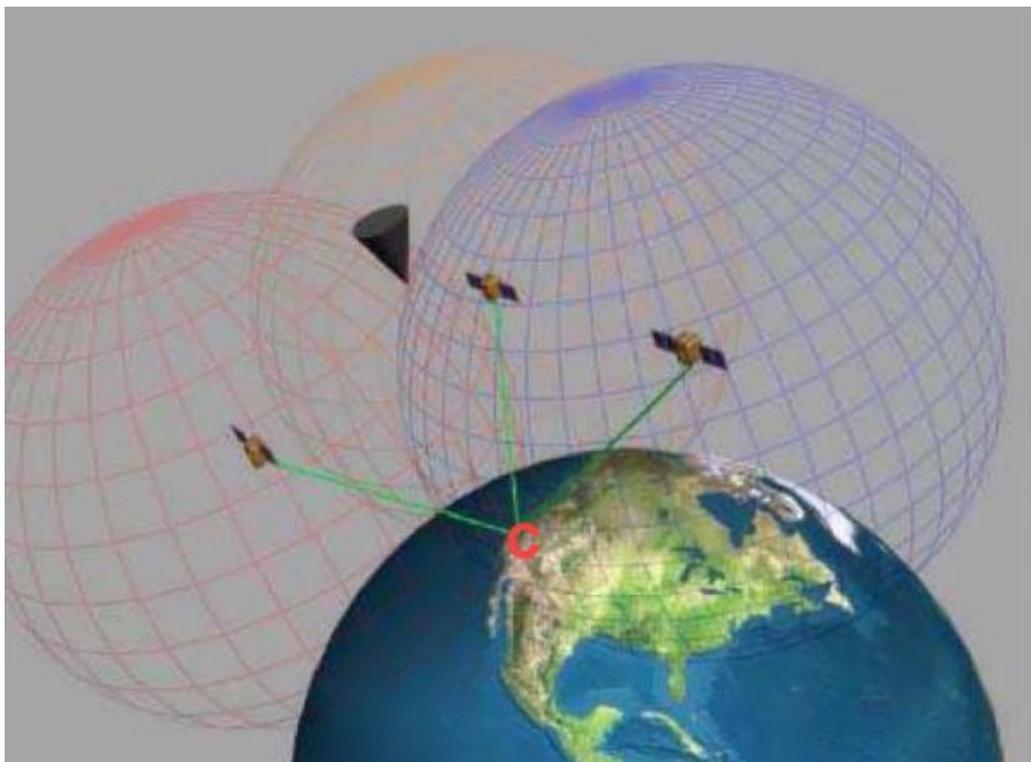


Figura 3.5 - Trilateração GPS

Fonte: Site "O que é" (2014)

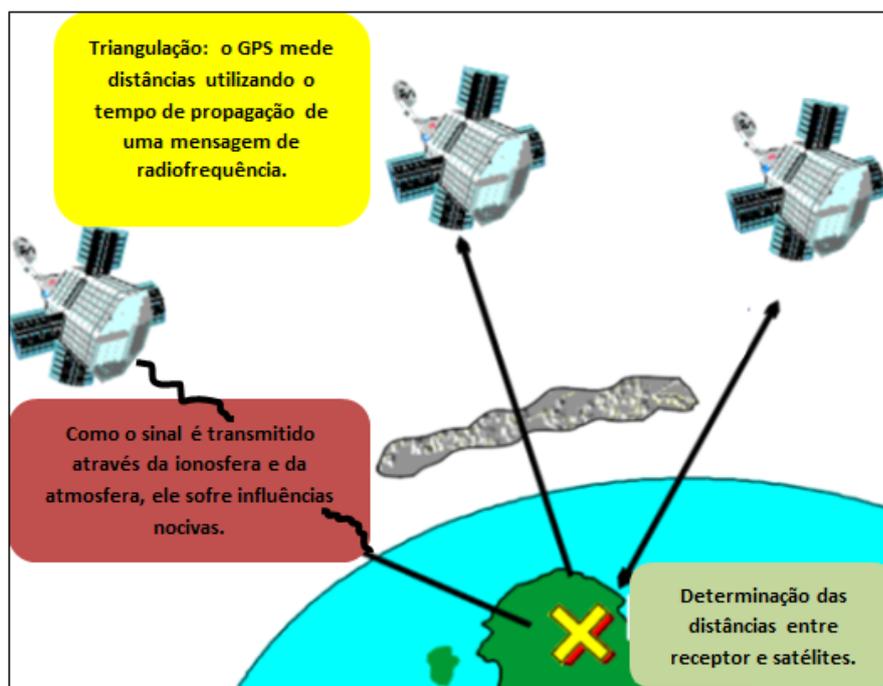


Figura 3.6 - Princípio básico do GPS

Fonte: Adaptado de Fiorio et al. (2013)

Quanto mais correlatores estiverem alocados a um único satélite, também menor o erro referente a desvio de fase correlator/sinal, já que se pode comparar a potência do sinal de vários correlatores e escolher o de melhor recepção. A qualidade do filtro usado também interfere na relação sinal ruído. Segundo Klugas (1997), a precisão de sincronismo entre o código gerado internamente no receptor e o recebido depende da relação sinal/ruído e pode variar de um mínimo de $1/64$ a $1/32$ do período de *chip* para altos valores desta relação conforme o algoritmo usado, para valores limites de $1/4$ a $1/3$ do período de chip para baixas relações sinal/ruído. Multiplicando a duração de $1/3$ do período de chip pela velocidade da luz para o código L1 de 1,023 MHz tem-se um erro de 97,75 m, frequentemente arredondado na literatura para 98 m. Este valor é o erro ligado ao sincronismo de código aos quais se somam outros erros. No caso da banda L2, de frequência 10 vezes maior, o erro de sincronismo de código é de 9,775 m.

Também afetam a medida, erros de relógio do receptor e satélite, efemérides do satélite, flutuações de percurso na troposfera (inclusive por chuva), flutuações de tempo de percurso na atmosfera, multi-caminho e o ruído interno dos circuitos eletrônicos do próprio receptor. Segundo Seeber (2003), em situações normais e em sistemas não diferenciais a ionosfera contribui com 1 a 50 m de erro; os erros de relógio, multi caminho e efemérides do satélite com 1 a 2 m cada um; e o ruído do receptor de 0,2 a 1 m. Com medidas de diferenças de fase das portadoras L_1 e L_2 os erros de posição relativa entre dois receptores podem ser medidos com precisão de milímetros. Há possibilidade de melhoria de cálculo de posição com o uso simultâneo das portadoras L_1 e L_2 , sendo que este assunto será exposto posteriormente.

A contagem de tempo no sistema de duas bandas é feita na banda L_2 , que tem em cada satélite o seu ponto de início sincronizado com o início do código da banda L_1 . As diferenças de tempo de propagação permitem avaliar o desvio ionosférico a cada milissegundo. Considerando mais uma vez os sistemas críticos da aviação, uma aeronave (mesmo sem sistemas inerciais, em procedimento de pouso) não andaria mais de 1,2 m em 10 ms, o que permitiria reduzir o erro com 10 medidas em 3 vezes (três satélites) se o erro fosse devido a um fator aleatório; se for devido a uma bolha ionosférica, seu desvio sistemático permanecerá e não haverá redução de erro.

O sistema é globalmente acessível e todos os sinais de GPS (na banda L do espectro de frequências) penetram nuvens, névoa, chuva e tempestades, ou seja, as unidades de GPS podem receber dados em quaisquer condições meteorológicas locais. Usando uma única antena GPS, são obtidas posições em três dimensões, não havendo necessidade de observar os parâmetros separados, tais como distâncias, ângulos e

elevações de ponto para obter uma posição tridimensional (3 D). Porém, os receptores GPS requerem uma visada desobstruída para os satélites, limitando seu uso em algumas áreas que apresentem obstáculos como construções, montanhas e grandes florestas. A precisão do posicionamento GPS depende da distribuição (geometria espacial) dos satélites observados no espaço em relação ao receptor, as estratégias de algoritmos de processamento de dados e a modelagem de diversas fontes de erro que contaminam as medições (PARKINSON et al., 1996). Receptores de navegação são os que apresentam melhor precisão posicional (2 a 15m) e uma das características mais importantes oferecidos pelos mesmos é a capacidade de coletar dados corrigidos distintivamente em uma taxa de registro que pode ser definida pelo usuário.

3.1.2. Sistema Diferencial de Navegação Global por Satélite (DGNSS)

Conforme Chujo (2007), na aviação as tecnologias GNSS são usadas em combinação com os sistemas de acréscimo denominados DGNSS (*Differential Global Navigation Satellite System*) para melhorar os requisitos operacionais de desempenho de voo associados com as funções de comunicação, navegação, vigilância e gerência de tráfego aéreo em um sistema denominado de *Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management (CNS/ATM)*.

O GPS diferencial (DGPS - *Differential Global Positioning System*) é uma evolução do GPS que provê uma melhoria significativa na precisão da localização; da precisão nominal (2 a 15 m) obtida com o GPS para cerca de 10 cm nas melhores implementações do DGPS. O DGPS usa uma rede de estações terrestres fixas que transmitem as diferenças entre as posições indicadas por satélites e essas posições fixas conhecidas. Sobre estas diferenças são efetuados cálculos e transmitidos sinais digitais para corrigir a posição final calculada. Um sistema similar, que transmite sinais

de correção a partir de outro grupo de satélites, é chamado *Wide Area DGPS (WADGPS)* ou *Satellite Based Augmentation System (SBAS)*.

Porém, há outros sistemas diferenciais atualmente em desenvolvimento: *ABAS (Aircraft Based Augmentation System)*, *GBAS (Ground Based Augmentation System)*, *GRAS (Ground Based Regional Augmentation System)* e outros sistemas derivados. A escolha de um sistema de acréscimo depende dos requisitos de desempenho para a operação especificada. A seguir, serão descritos os sistemas que possuem mais destaque para a presente dissertação.

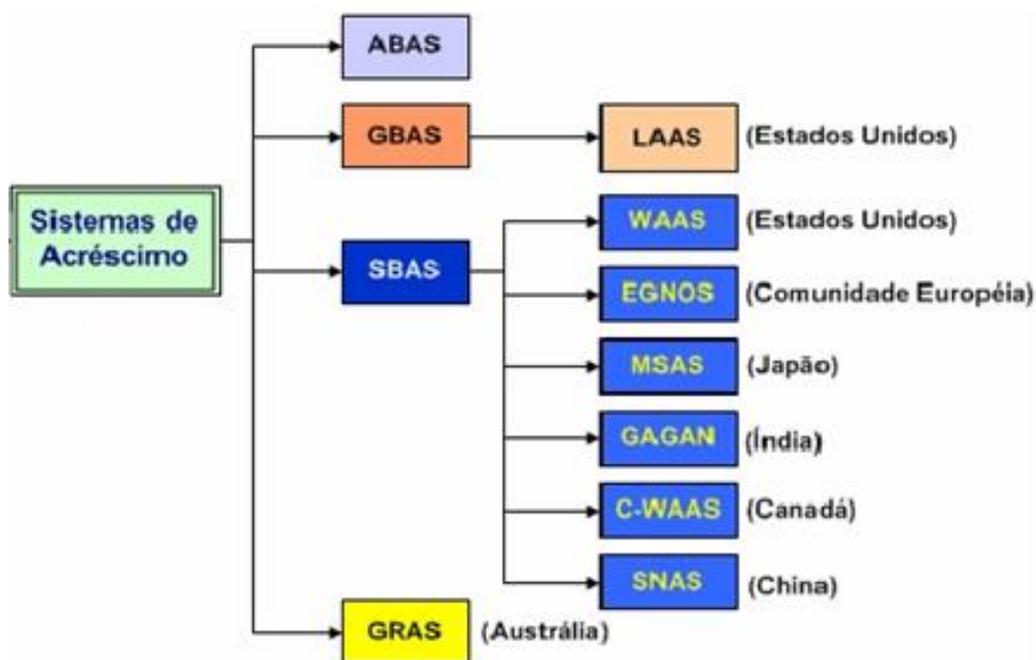


Figura 3.7 – Diagrama de sistemas diferenciais

Fonte: Chujo (2007)

Tabela 3.2- Características dos principais sistemas diferenciais

Sistema diferencial	Principais características
ABAS	<i>Aircraft-Based Augmentation System.</i> A ICAO padronizou a denominação ABAS (Sistema de aumento baseado em Aeronaves) para descrever todos os sistemas e equipamentos a bordo de uma aeronave que sejam capazes de fornecer acréscimos de navegação através de técnicas de monitoramento de integridade. O conceito ABAS utiliza procedimentos baseados no uso de receptor GNSS básico ou outro sistema de acréscimo embarcado que capte informação de outros sensores para fornecer dados de integridade GPS e aumento de desempenho.
GBAS	<i>Ground-Based Augmentation System.</i> O GBAS ou Sistema de aumento baseado em Estações Terrestres é um sistema de aproximação e pouso (de aeronaves) de precisão. Receptores GPS próximos às pistas de pouso, em locais de coordenadas precisamente conhecidas, providos de antena receptora, são chamados de receptores de referência. Os dados de posicionamento coletados nesses receptores são transmitidos para um processador central no aeroporto que é responsável por produzir (dentre outras) mensagens de correção, integridade e segmentos de aproximação, enviadas às aeronaves.
LAAS	<i>Local Area Augmentation System.</i> O LAAS (Sistema de aumento Local) é semelhante ao GBAS e é formado por uma única estação de referência localizada no aeroporto. Esta estação é formada por três ou mais receptores de referência que medem independentemente pseudo distâncias e fase da portadora dos satélites GPS. A estação gera correções diferenciais que são transmitidas aos usuários, incluindo informações de segurança e geometria de aproximação.
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System.</i> O SBAS (Sistema de aumento baseado em Satélites) utiliza a constelação de satélites GPS e GLONASS e é basicamente um serviço WADGS para os usuários de uma área de cobertura continental (normalmente). Os satélites são, em geral, geoestacionários para uma cobertura mais ampla. A partir do rastreamento dos satélites GNSS, mensagens com informações adicionais de correção são criadas e enviadas a um ou mais Satélites Geoestacionários (GEOs).

(Continua)

Tabela 3.2- Continuação

Sistema diferencial	Principais características
SBAS	O sistema compreende: uma rede de estações de referência terrestre (receptores de dupla frequência); estação mestra; estações de enlace de subida (<i>uplink</i>) e transceptores (<i>transponders</i>). Sinais de navegação são transmitidos pelos satélites GNSS e recebidos por usuários e pela rede de monitoramento de integridade (estações de referência) distribuída sobre uma área geográfica. Estas estações retransmitem dados a um equipamento de processamento central (estação mestra) que avalia o sinal e calcula as correções necessárias. O SBAS estima os erros na transmissão e transmite as correções para as estações de enlace de subida e envia ao satélite geoestacionário. Por fim, a mensagem de correção é transmitida ao usuário.
WAAS	Wide Area Augmentation System. No WAAS (Sistema de aumento baseado em ampliação de Área), que é um tipo de SBAS operado pela FAA (<i>Federal Aviation Administration</i>), cada estação de referência mede o atraso ionosférico para todos os satélites visíveis a um determinado ângulo de elevação, usando receptores GPS de dupla frequência. Os atrasos ionosféricos e a localização dos pontos ionosféricos de todas as estações de referência são enviados para uma estação mestra em tempo real. Na estação mestra os dados são coletados e é realizada uma combinação de todos os dados da ionosfera obtidos a partir das estações de referência. As informações são enviadas ao receptor do usuário que realiza as devidas correções no sinal por interpolação. (KOMJATH et al., 2003)
GRAS	Ground-Based Regional Augmentation System. O conceito GRAS (Sistema de aumento regional baseado no Solo) é semelhante ao SBAS no que tange à distribuição de uma rede de estações de referência para monitoramento GPS e equipamento de processamento central, para cálculo de informação de integridade e correções diferenciais GPS. Porém, como a Austrália não dispõe de satélites geoestacionários, o GRAS envia mensagens análogas às do SBAS por meio de uma rede de estações terrestres, aproveitando a infraestrutura já existente naquele país, fazendo uso da rede de comunicação VHF para comunicações.

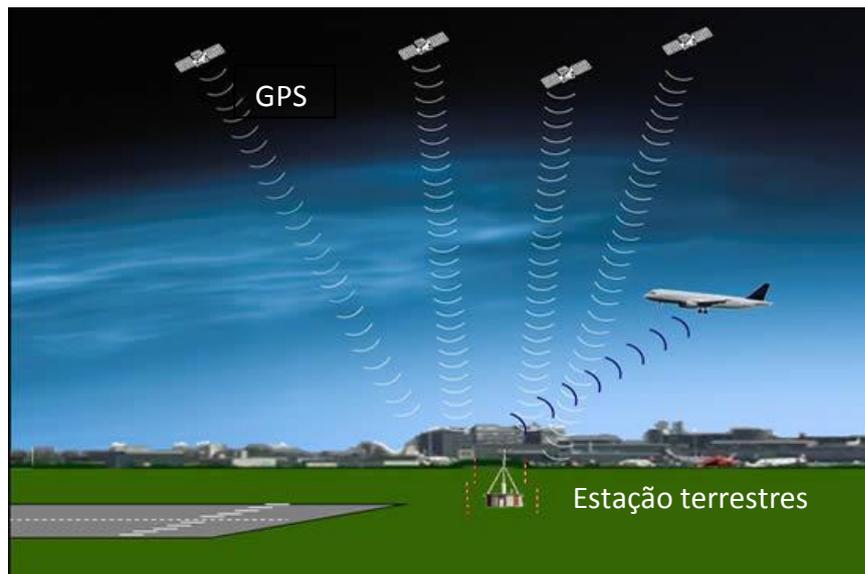


Figura 3.8 – Diagrama de operação do GBAS

Fonte: Blue Sky (2014)

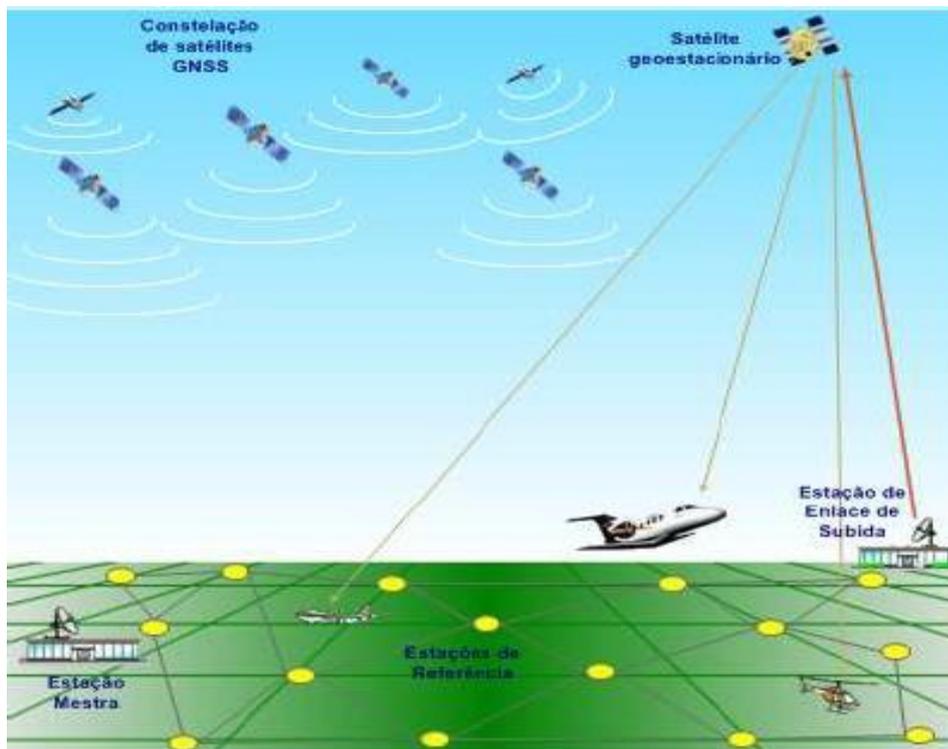


Figura 3. 9 – Diagrama de operação do SBAS

Fonte: Chujo (2007)

3.2 Plataformas de Coleta de Dados (PCDs)

Segundo o INPE (2015), INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2010), Santos et al. (2013), Silva et al. (2011), Yamaguti et al. (2009), o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) do INPE presta serviços de coleta de dados ambientais, utilizando em seu segmento espacial um conjunto de satélites desenvolvidos e operados pelo referido instituto. Os serviços prestados por este sistema são relacionados à coleta de dados ambientais adquiridas pelas Plataformas de Coleta de Dados (PCD), que utilizam os satélites como meio de comunicação para transmissão dos dados até as estações de recepção. O SBCDA abrange os satélites SCD (Satélite de Coleta de Dados) e CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*), as redes de PCDs espalhadas pelo território nacional, pelas Estações de Recepção de Cuiabá e de Alcântara e pelo centro de missão denominado de Sistema Nacional de Dados Ambientais (SINDA) em Natal, RN (INPE). O Laboratório de Instrumentação Meteorológica, localizado em Cachoeira Paulista, realiza serviços de calibração e de manutenção de sensores.

As PCDs ou Estações Meteorológicas Automáticas são aparelhos eletrônicos de alto nível de automação, que podem ser interligados diretamente a um sistema de computadores ou a satélites de coleta de dados, e que têm a capacidade de armazenar e transmitir para estes satélites ou sistema de computadores, dentro de níveis bastante altos de confiabilidade, parâmetros ambientais, hidrológicos, meteorológicos ou agro meteorológicos, captados por sensores específicos para este fim, conectados às plataformas e instalados em suas cercanias. Algumas de suas aplicações podem ser verificadas nos itens a seguir.

- a) Programa MARSP (Programa de Monitoramento Ambiental do Eixo Rio - São Paulo).

- b) Hidrologia para a Agência Nacional das Águas (ANA) e Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM).
- c) Meteorologia para Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e núcleos estaduais de Meteorologia.
- d) Oceanografia (boias de deriva, boias ancoradas) para Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e PETROBRÁS.
- e) Qualidade d'água para Comitês de bacias hidrográficas, Prefeituras, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e órgãos de Gestão e Fiscalização de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.
- f) Monitoração de nível de reservatórios de usinas hidrelétricas para Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).
- g) Outras aplicações como química da atmosfera; defesa civil (sistemas de alerta hidrológico); rede maregráfica; engenharia e testes (fornecedores de plataformas); pesquisa científica; educação e treinamento; transmissão e geração de energia elétrica; monitoramento ambiental (risco de fogo em queimadas de florestas).

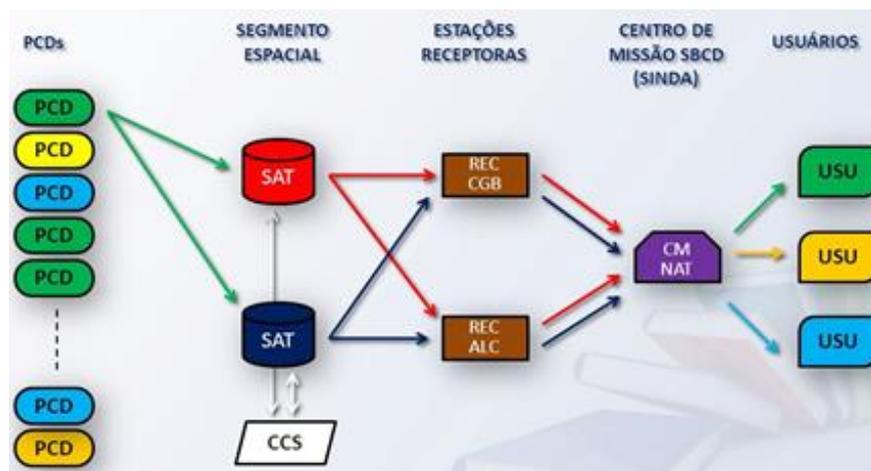


Figura 3.10 - Configuração do SBCD

Fonte: Carvalho e Jotha (2014)

A operação do SBCDA foi iniciada e mantida em operação com os satélites SCD e CBERS: SCD-1 (1993), SCD-2 (1998), CBERS-1 (1999), CBERS-2 (2003) e CBERS-2B (2007). A rede inicial de PCDs passou de 60 para 800 em 2008 e abrange cerca de 100 organizações. O grande interesse da comunidade usuária aumentou a responsabilidade do INPE na operacionalidade, manutenção e melhoria do sistema.

Neste sistema, conforme descrito em Yamaguti et al. (2009), os satélites funcionam como retransmissores de mensagens. Assim, as comunicações entre uma plataforma e as estações de recepção são estabelecidas através dos satélites. As plataformas podem ser fixas ou móveis; nas aplicações de hidrologia e de meteorologia com plataformas fixas, estas são geralmente configuradas para transmitirem a cada 200 segundos até 32 bytes de dados úteis, correspondendo a (no máximo) um segundo de transmissão. Os satélites SCD-1, SCD-2 e CBERS-2B operam em duas faixas de frequência UHF para recepção das mensagens transmitidas pelas plataformas de coleta de dados: em torno de 401,620 MHz e de 401,650 MHz. Os sinais recebidos a bordo dos satélites são retransmitidos para o solo na Banda S (2.267,52 MHz) e, no caso do CBERS-2B, também em UHF (462,5 MHz).

Os satélites SCD-1 e SCD-2 permitem uma cobertura adequada de todo o território nacional. Cada satélite completa 14 órbitas por dia, das quais oito são visíveis à estação receptora principal (Cuiabá). O satélite CBERS-2B, de órbita polar, apresenta três ou quatro passagens por dia sobre a estação principal. Os dados das plataformas de coleta de dados ambientais, retransmitidos pelos satélites e recebidos nas estações de Cuiabá ou de Alcântara, são enviados para o CMCD (Centro de Missão Coleta de Dados) para processamento, armazenamento e disseminação aos usuários. O envio desses dados ao usuário é feito através da Internet em, no máximo, 30 minutos após a recepção. Um sistema de coleta de dados baseado em satélites com órbitas de baixa inclinação (\leq a 30

graus) mostra-se adequado ao Brasil considerando que, além de permitir um número grande de passagens por dia, apresenta uma cobertura satisfatória do sul do país.

Segundo Carvalho e Jotha (2014), Carrara et al. (2014), Ereno (2014), há estudos do INPE no sentido de garantir a continuidade do SBCDA por meio de uma constelação de nanossatélites (*cubesats*). Os *cubesats* foram criados em 1999 como uma ferramenta educacional, constituindo-se em nanossatélites na forma de cubo com 10 centímetros de aresta. Eles se tornaram um instrumento relativamente barato e rápido para coletar dados espaciais e são usados para diversas finalidades como detecção de sinais eletromagnéticos de sensoriamento atmosférico, observação de fenômenos no solo e outras aplicações, principalmente se lançados aproveitando outras missões (*piggyback*).

No Brasil, o programa para construção de satélites de pequeno porte foi iniciado em 2003 por pesquisadores do INPE, com apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB). O Centro Regional do Nordeste (CRN) em Natal é responsável pelo sistema brasileiro de coleta de dados ambientais e também faz parte do movimento de expansão dos *cubesats* brasileiros, com o CONASAT (Constelação de Nanosatélites).

O CONASAT "objetiva oferecer uma opção tecnologicamente atualizada e a custos reduzidos para garantir a continuidade do SBCDA, através de uma constelação de nanossatélites, que possibilitem melhorias na qualidade do serviço, no que diz respeito à capacidade, abrangência geográfica e tempos de revisita. Apesar de o projeto ser de uma constelação completa e todos os estudos terem sido feitos neste sentido, decidiu-se pela criação de versões de desenvolvimento gradativo, em que cada uma servirá de laboratório para avaliação de desempenho, de modo a nortear o desenvolvimento da próxima versão. (MILESK, 2014)

O CONASAT deve possibilitar a ampliação da capacidade do serviço de coleta de dados ambientais do SBCDA através da substituição dos SCDs pela missão espacial de baixo custo. Eles fornecerão boa resolução temporal para as PCDs. Antes de optar pelo uso de *cubesats*, foi feito um estudo para avaliar a viabilidade de se ter um transceptor de coleta de dados embarcado no nanossatélite. No espaço, o transceptor receberá os sinais das PCDs espalhadas pelo Brasil e pelo Atlântico e os retransmitirão para as estações de recepção em Alcântara e Cuiabá. Estas estações processarão os dados para envio aos usuários. Prevê-se que o lançamento do primeiro satélite do sistema seja em 2016. A seguir, são apresentadas as principais características dos *cubesats* do CONASAT.

Tabela 3.3 - Principais características dos *cubesats* (CONASAT)

CUBESATS DO CONASAT	
Órbita	<ul style="list-style-type: none"> a) Órbita circular de baixa altitude (LEO = Low Earth Orbit) - compreendida entre 400 e 1000 km. b) Uma volta em torno da terra em cerca de 97 minutos. c) Aproximadamente 14 voltas em torno da terra por dia. d) Inclinação Orbital de 30° - 8 a 9 passagens visíveis. e) Inclinação Orbital de 90° - apenas 3 a 4 passagens visíveis.
Tamanho e peso	Cubo 8U com arestas de 2x10 cm e 8 Kg de peso.
Telemetria e Telecomando	Nas faixas de frequências de VHF e UHF via protocolo de comunicação AX-25, muito utilizado por radioamadores.
Estação de Rastreo e Controle	Implantação em Natal.
Principais vantagens	<ul style="list-style-type: none"> a) Computador de bordo para analisar e tratar os dados recebidos das PCDs. b) Otimização do processo de comunicação. c) Maior garantia da integridade dos dados. d) Possibilidade de armazenamento e posterior envio de dados recebidos fora da área de cobertura. e) Simplificação do processamento em terra.

Fonte: Carvalho e Jotha (2014)

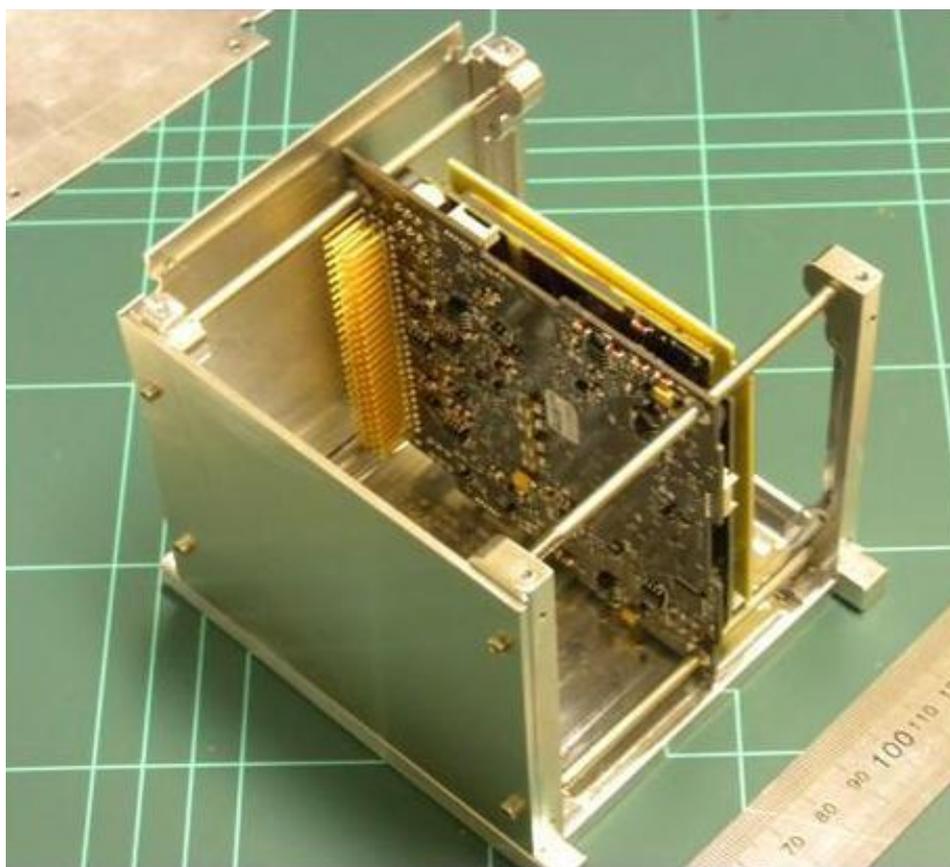


Figura 3. 11- *Cubesat* do CONASAT

Fonte: Carvalho e Jotha (2014)

Concluindo esta etapa da revisão da literatura, foram verificadas quais são as principais características dos sistemas envolvidos de localização baseados em tecnologia de satélites, particularmente o GPS e as PCDs. Para que estes dois sistemas sejam submetidos aos métodos heurísticos, necessita-se também verificar as principais necessidades e problemas técnicos dos mesmos, relativos à ionosfera, cujos conteúdos serão expostos nos próximos capítulos.

4 . DEFINIÇÃO DAS PRINCIPAIS NECESSIDADES E PROBLEMAS TÉCNICOS

4.1. Principais necessidades do GPS

Antes de ser realizada a descrição dos problemas técnicos, é importante definir as necessidades dos sistemas a serem estudados, já que possuem muitas áreas de aplicações. O objetivo desta análise é a de encontrar as necessidades mais relevantes das partes interessadas, envolvidas ou afetadas por estes sistemas, a fim de propor requisitos iniciais que levem à obtenção de soluções viáveis. Primeiro, será realizada a descrição do problema relativo ao GNSS/GPS, o qual é mais amplo e poderá ser utilizado como referência para as PCDs.

A missão dos GNSS, como já se descreveu anteriormente, é a de prover dados de tempo e posição com exatidão em todo o mundo, com exceção das zonas polares. Para o GNSS (em especial o GPS) ser um sistema global, vários grupos serão afetados ou podem afetar o seu desenvolvimento e uso. Pode-se identificar a maioria destes grupos interessados e suas necessidades em relação ao GPS, através de diversos trabalhos relativos às aplicações deste sistema (MONICO, 2000; FIGUEIRÊDO, 2005; TIMBÓ, 2000; BERNARDI e LANDIM, 2002).

4.1.1. Empresas de aviação geral, navegação marítima e transportes.

- a) Determinar posição.
- b) Encontrar caminho para determinado local (traçando as melhores rotas a serem percorridas, procurando locais desconhecidos).
- c) Conhecer a velocidade e direção do seu deslocamento.
- d) Efetuar navegação por mapas (visão geral da área que está sendo percorrida).
- e) Efetuar controle de rota (em voo) de aeronaves, terminal (aproximação do aeroporto) e em terra (táxi); reduzir probabilidade

de colisão através de um controle automático preciso da posição relativa das aeronaves; otimizar rotas em tempo e espaço, evitando atrasos e esperas nos voos (menor custo); prover trajetórias automáticas, com conseqüente redução no consumo de combustíveis; proporcionar pilotagem automática de aeronaves desde a decolagem até o pouso.

- f) Monitorar veículos de transporte de produtos de altos valores; prover ligação do GPS com o SIG (Sistema de Informação Geográfica); prover informações adicionais sobre as condições de trânsito, das estradas e atmosféricas.

4.1.2 Aplicações científicas e militares

- a) Proporcionar base de tempo com relógio altamente preciso (registro com precisão de microssegundos quando a amostra de um experimento foi obtida); obter sincronização de sistemas temporais em diversas partes do globo simultaneamente como os sistemas de processamento de dados.
- b) Monitorar ou determinar a posição (órbita) de veículos lançadores de satélites ou foguetes científicos de sondagem, naves tripuladas (tipo *Shuttle*), satélites (incluindo transferências de órbitas).
- c) Determinar a atitude de satélites e aeronaves pela diferença de fase do sinal GPS entre antenas receptoras diversas em um veículo.
- d) Prover orientação durante missões militares (posição, caminho, velocidade, direção, utilização de mapas).
- e) Efetuar direcionamento e monitoração de foguetes e mísseis balísticos e controle de atitude para tiros de alta precisão.

4.1.3 Aplicações diversas

Obs.: Agricultores, agrimensores, guardas-florestais, geólogos, arqueólogos, bombeiros, policiais, ciclistas, balonistas, pescadores,

ecoturistas, *geocachers*, voo livre, caçadores, *mountainbikers*, esquiadores, exploradores, alpinistas, aventureiros).

- a) Efetuar levantamentos precisos mais rapidamente com precisão de um centímetro a um metro para uso em mapas, cartas náuticas, construção de edificações e obras de construção civil. Receptores GPS para uso em mapeamento e agrimensura são tipicamente maiores e consideravelmente mais precisos (0,1 a 5 m).
- b) Proporcionar a agricultura de precisão, permitindo que uma máquina agrícola com receptor GPS possa armazenar dados relativos à produtividade em um dispositivo de memória, o qual produz um mapa de produtividade da lavoura, otimizando a aplicação de corretivos e fertilizantes.
- c) Prover aplicações topográficas com precisão milimétrica para: medição de terrenos; determinação de ângulos, distâncias, áreas, pontos; realização de levantamentos; desenvolvimento de sistemas cartográficos computacionais muito mais funcionais e precisos; levantamento de mapas de altitudes.
- d) Atender a emergências, sendo que o comando de um simples botão possa transmitir a posição atual do usuário a um centro de ajuda mais próximo.
- e) Promover a recuperação de carros, celulares e outros bens roubados.
- f) Proporcionar a detecção de movimentos de placas tectônicas.
- g) Efetuar a correção geométrica de aerofotos e imagens de satélite.
- h) Proporcionar orientação durante as viagens de esportistas pela disponibilização de mapas, percursos e outras informações (posição, velocidade e direção).
- i) Prover registro de recordes e na apuração dos resultados de atletas.

Essas partes interessadas têm várias expectativas em relação ao GPS que devem ser buscadas e consolidadas na forma de requisitos que nortearão o desenvolvimento das soluções de problemas técnicos.

Os principais requisitos derivados das aplicações mencionadas podem ser resumidos, a seguir.

- a) Sistema deve atingir a precisão necessária para aplicações mais críticas como as científicas, militares, de medição e relativas à aviação. Esta precisão deve ser suficiente para viabilizar cada uso específico, que vai de 1mm para georreferenciamento a 0,5 m na aviação (CAT III).
- b) Sistema deve possuir sinal detectável e adequado para as diversas aplicações em todas as partes do território nacional, e para aplicações aeronáuticas tanto para voos nacionais como internacionais, sem qualquer modificação inaceitável aos países-parceiros.
- c) O sistema deve operar ininterruptamente, 24 horas por dia, em todos os dias do ano.

4.2 Principais necessidades das PCDs

As PCD's, conforme pesquisa realizada (INPE, 2015; INEMA, 2011; SANTOS et al., 2013; SILVA et al., 2011; YAMAGUTI et al., 2009) é um sistema de coleta, armazenamento e transmissão de parâmetros ambientais captados por sensores específicos localizados nestas plataformas. Para que o referido sistema possa ser melhor compreendido serão identificadas as principais necessidades.

- a) Obtenção de dados ambientais, hidrológicos, meteorológicos ou agrometeorológicos para emprego em serviços e fabricação de produtos.

- b) Comunicação de mensagens: usado na missão antártica ARGOS (*Advanced Research and Global Observation Satellite*) para pedidos de suprimentos.
- c) Utilização dos dados mencionados em pesquisas científicas.
- d) Utilização dos dados meteorológicos na aviação, segurança e defesa.

Do mesmo modo, os principais requisitos derivados das aplicações enunciadas das PCDs podem ser resumidos, a seguir:

- a) Sistema deve atingir a precisão na localização das PCDs, necessária à identificação dos locais onde estão sendo coletados os dados e recuperação em caso de emergência.
- b) Sistema deve atingir toda a área onde estiver presente uma PCD marítima, fluvial ou terrestre.
- c) Sistema deve ter uma taxa de visita mínima diária dos agentes de coleta (atualmente os satélites) para cada missão e coleta ininterrupta de dados pelas PCDs.

Verifica-se que os dois sistemas possuem suas próprias características com relação às principais expectativas que foram deduzidas dos interessados mais relevantes, ressaltando que o GPS é muito mais abrangente. Assim, torna-se interessante (do ponto de vista científico) analisar as metodologias apresentadas para sistemas com necessidades distintas e graus de complexidade diversos, mas que têm semelhanças nos problemas relativos à ionosfera.

4.3 Problemas técnicos relacionados com a ionosfera (GPS e PCDs)

Nos sistemas de comunicação, principalmente nos sistemas baseados em satélites, poderemos encontrar vários tipos de dificuldades e contradições. Por exemplo, pode-se garantir o enlace mesmo com o aumento da distância: com o uso de maiores Potências Isotrópicas

Radiadas Equivalentes (*Equivalent Isotropic Radiated Power* - EIRP), o que exige mais potência ou antenas de maior ganho, ou pode-se manter o enlace apenas com antenas de maior ganho no receptor. Mas estas soluções podem esbarrar em outros problemas como limites de irradiação legais ou no fato que quanto maior o ganho da antena receptora, menor o ângulo em que esta é sensível à energia irradiada; também, quanto maior o ganho, maior o impacto de cintilações devido ao desvio do feixe por variações de densidade, umidade e outras condições físicas semelhantes (SILVA; CHAMON, 2004).

Conforme Salomoni (2008) e Ruviaro et al. (2013), no caso de sistemas de comunicações que dependam da ionosfera, há um problema comum dos países situados perto de zonas equatoriais, como o Brasil. Este fenômeno afeta severamente sistemas de VHF, UHF, bandas L e S (em especial sistemas de localização). Assim, a correção feita por receptores de solo nem sempre serviria para melhor determinar o posicionamento e deslocamento de satélites, foguetes, aeronaves, veículos, sondas e itens afins. Tal situação pode ainda se agravar, devido à existência de bolhas na ionosfera, de centenas de quilômetros de extensão, deslocando-se a certa velocidade nesta zona. A propagação de sinal dentro destas bolhas é diferente da propagação na camada normal da ionosfera. Nesse caso, dependendo das posições relativas do satélite e dos receptores no ar e no solo, pode ser que o sinal atravesse a bolha no trajeto do satélite para alguns receptores, mas não para outros. Há, ainda, o problema de variação do nível de sinal com a distância, que gera a saturação de receptores sensíveis, projetados para o sinal fraco do GPS. Mudando-se a frequência, não se interfere com os sinais do GPS, mas permanece o problema de saturação eventual com a variação de distância. Também o efeito ocasionado por inúmeras camadas sucessivas de ionização leva à reflexão ou refração das ondas de radiofrequência, nas frequências mais baixas. Considerando especificamente a refração, a variação de percurso

da parcela do sinal refratado pode ser considerável, atingindo a ordem de milhares de quilômetros; ao contrário da reflexão, que não ultrapassa a algumas centenas de quilômetros.

A ionosfera afeta a propagação de ondas eletromagnéticas por ser um meio dispersivo, fazendo com que a modulação (código) e a fase das ondas portadoras transmitidas pelos satélites GPS, respectivamente, sofram um atraso e um avanço, o que (por sua vez) provoca um erro na distância medida entre o satélite (s) e o receptor (r.) , que podem ser calculados pelas equações 4.1 e 4.2. Observa-se que os efeitos de fase e atraso são proporcionais, com sinais opostos (- e +)

$I_{f_r}^s = -\frac{40,3}{f^2} \text{TEC}$ $I_{g_r}^s = \frac{40,3}{f^2} \text{TEC}$	<p>Erro para a observável de fase (4.1)</p> <p>Erro para a observável de pseudo distância (4.2)</p>
--	---

O erro de primeira ordem devido à ionosfera para a observável de fase e pseudo distância ao longo da direção satélite (s) e antena receptora (r) são dados em função do TEC (*Total Electron Content*) e da frequência do sinal (f), conforme Leick (1995). O TEC é composto pelos elétrons livres na ionosfera como consequência da fotoionização (absorção de radiação), sendo o principal parâmetro utilizado em estudos ionosféricos, o qual apresenta variações de acordo com o ciclo solar, estação do ano, hora do dia, localização geográfica, atividade geomagnética e outros parâmetros (CARDOSO et al., 2010).

O erro devido à ionosfera é expresso em metros (m), pois o TEC é dado em elétrons por metro quadrado (el/m²), a frequência em Hertz (Hz) e a constante 40,3 é dada em Hz² (el/ m²)⁻¹ . Analisando as equações 4.1 e

4.2, percebe-se que, tanto para a fase da portadora quanto para o código, o erro devido à ionosfera é inversamente proporcional ao quadrado da frequência do sinal transmitido e diretamente proporcional ao TEC. Então, as frequências mais altas são menos afetadas pela ionosfera e quanto maior o TEC maior será o erro. A ionosfera não só degrada a acurácia e a precisão do GNSS, como também reduz a sua confiabilidade, pois estudos têm mostrado uma alta dependência entre perdas de sinal e irregularidades ionosféricas (SKONE, 2000; WANNINGER et al., 1991,1993; CAMPOS et al., 1993).

Tradicionalmente a ionosfera era usada como um “espelho” para sinais de radiofrequência em ondas curtas (HF- *High Frequency*), permitindo comunicações a longa distância. Com o uso de frequências mais altas, a ionosfera deixou de comportar-se como espelho e se assemelha a uma “janela” em que irregularidades no “vidro” podem distorcer o sinal que a atravessa. À medida que frequências mais altas são utilizadas o efeito reduz-se, sendo virtualmente sem importância para valores acima de 10 GHz; porém, à medida que a frequência sobe, cresce a atenuação por umidade (crítica na banda Ku). Receptor e transmissor estão sempre na primeira zona de Fresnel, e quanto mais obstruções nesta zona maior a perda de sinal. Estas zonas também definem as alterações de fase geradas por objetos. Para a primeira zona ($n=1$) a mudança de fase é de 0 a 180 graus; para a segunda ($n=2$), de 180 a 360; e assim por diante. Irregularidades difrativas de raio maior que o da primeira zona de Fresnel presentes nesta zona, implicam ausência de sinal direto e desvanecimento de Rayleigh (rápido). As zonas de Fresnel resultam de difração por uma abertura circular e são de forma elipsoidal conforme ilustrados na Figura 4.1, onde também se mostra como é calculado seu raio (R_n):

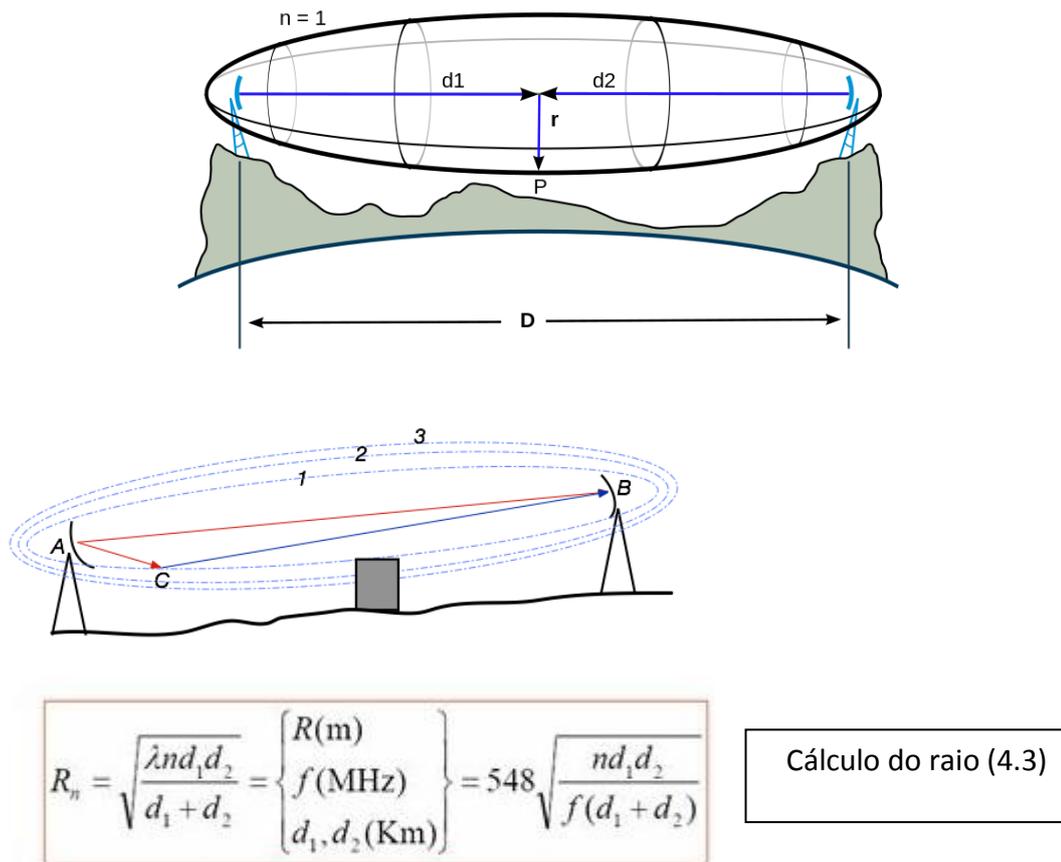


Figura 4. 1 - Zonas de Fresnel

Fonte: Wikipédia - Zona de Fresnel (2013)

Assumindo que:

- a) as flutuações em permissividade sejam desprezíveis;
- b) as escalas de irregularidades sejam muito maiores que o raio de Fresnel (KINTNER et al., 2007);
- c) a camada irregular da ionosfera tenha uma espessura L e a distância até o receptor seja dada por h;

- d) as interfaces paralelas em ângulo com a linha de propagação do sinal dada por $40,3 \text{ TEC } c^{-1}f^{-1}$, onde TEC é o conteúdo total de elétrons no percurso de propagação do sinal, o que implica em atraso de tempo de $6,41 \text{ TEC } c^{-1}f^2$, onde f é a frequência e c a velocidade da luz no vácuo; e
- e) os sinais de frequências diferentes passem por trajeto de igual TEC.

A diferença de tempo entre sinais de frequências diferentes (D) é dada por :

$$D = 6,41 \text{ TEC } c^{-1} (f_1^{-2} - f_2^{-2}) \quad (4.4)$$

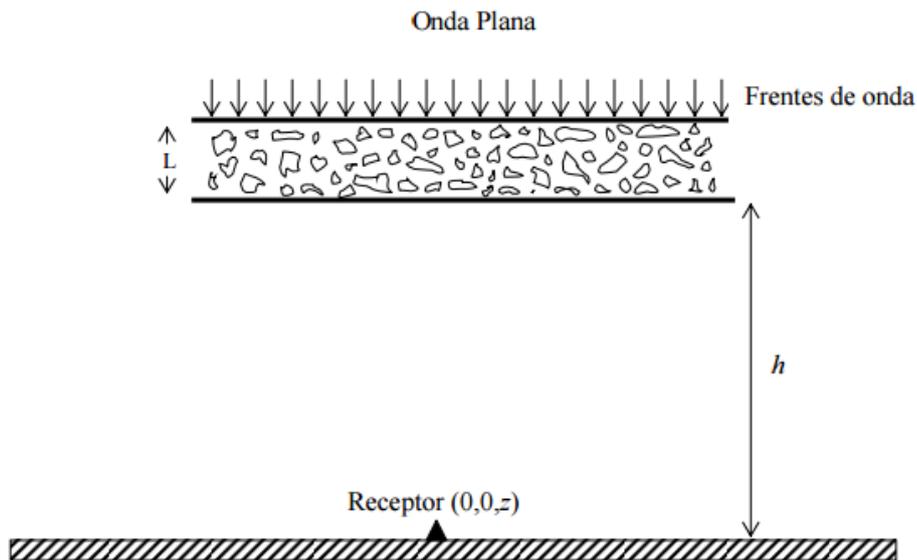


Figura 4. 2 - Considerações para o cálculo de D (diferença de tempo)

Fonte: Muella (2008)

Como a variação da TEC tem uma dinâmica mais lenta há a possibilidade de se estimar a TEC para períodos curtos, comparando a evolução da

diferença de tempo dos sinais desde que ambos passem por áreas com conteúdo total de elétrons próximos. Quanto maior a irregularidade e mais próximos os percursos, mais realista é a hipótese de TEC comum. Havendo sinal direto sem interferências e um sinal espúrio de mesma frequência com defasagem, manipulações trigonométricas permitem ver que este sinal espúrio gera perturbações na fase do sinal principal, o que atrapalha a demodulação, e pode eventualmente afetar a correlação de código, se o sinal direto for muito mais fraco que o sinal espúrio.

Outro fenômeno seria a perda de sinal de satélites devido às flutuações rápidas das características de propagação do sinal na ionosfera, chamadas de cintilações, especialmente em casos de tempestades que ocorrem na ionosfera devido ao bombardeamento excessivo de partículas quando há uma atividade solar muito intensa, que mesmo rara, é mais frequente na zona equatorial (a influência do sol na ionosfera nestas zonas é bem maior do que nas regiões temperadas) em épocas de atividade solar intensa.

As cintilações ionosféricas constituem-se na rápida flutuação da fase e da intensidade de ondas eletromagnéticas que se propagam pela ionosfera. Este fenômeno é provocado por variações na densidade atmosférica devido à turbulência (variações em pequena escala na densidade do plasma ionosférico). Essas irregularidades são como lentes convergentes ou divergentes, focando ou desfocando as ondas eletromagnéticas. Conforme já explanado, antenas receptoras de alto ganho e sensibilidade em ângulos estreitos podem ainda ter oscilações referentes à flutuação da direção de chegada do sinal.

De acordo com Aarons (1997), Basu e Mackenzie (1988), existem três regiões principais de ocorrência das cintilações, como ilustra o diagrama a seguir:

**Desvanecimento por cintilação em banda-L (1 GHz)
em anos de máxima e mínima atividade solar**

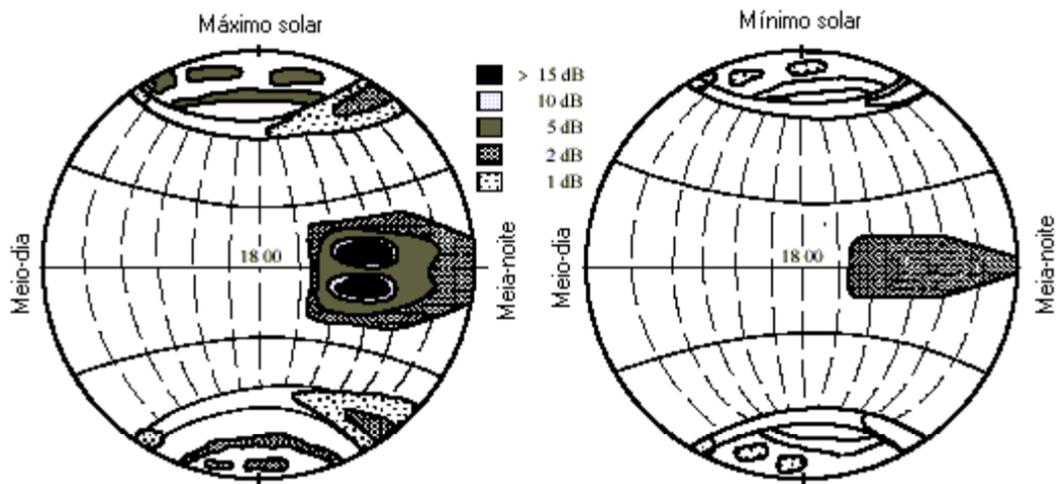


Figura 4. 3 - Desvanecimento por cintilação.

Fonte: SSPI/Brasil (2015)

A primeira região é a região equatorial no período após o pôr do sol. A segunda região compreende o lado noturno da região da oval auroral e o lado diurno do vértice polar (*“polar cusp”*). Por fim, a terceira região corresponde à região mais interna da calota polar. Nesta região, é possível observar cintilações em qualquer hora local. As regiões de maior intensidade das cintilações correspondem às regiões de pico (norte e sul) da anomalia equatorial, localizadas a aproximadamente $+20^\circ$ e -20° de latitude magnética. A geração das irregularidades equatoriais e a ocorrência de um máximo secundário de ionização durante o período após o pôr do sol se combinam de forma a resultar o máximo na atividade de cintilação nesta região. A cintilação em sinais na faixa de GHz é mais fraca no equador magnético (BASU; MACKENZIE, 1988; RODRIGUES, 2003).

A cintilação ionosférica também pode ocorrer em regiões caracterizadas por depleções do plasma de larga escala, geralmente conhecidos como

bolhas de plasma ou bolhas ionosféricas. Essas irregularidades de larga escala aumentam a ocorrência de cintilações ionosféricas, resultando em degradação nos sinais de comunicação que atravessam a ionosfera, incluindo os sinais do GPS. A cintilação pode causar perdas de sinais, ou seja, perdas de ciclos devido ao enfraquecimento da potência do sinal recebido e da variação da fase (SEEBER, 2003). A perda de sinais está também relacionada ao sistema de recepção do receptor GPS (antena/amplificador) e à técnica de processamento do sinal (MATSUOKA, 2007).

Estes e outros fenômenos poderiam ser eficazmente modelados e tratados se houvesse dados suficientes sobre a dinâmica da ionosfera, em especial nas regiões equatoriais do hemisfério sul, onde fica a maior parte do território nacional. Muitos estudos têm sido realizados para obter-se um modelo da ionosfera, como o de Klobuchar, mas nenhum deles abrange todas as variáveis necessárias para prever este fenômeno em todas as regiões do globo terrestre (AGUIAR, 2003; CAMARGO, 1999; KLOBUCHAR, 1987; MATSUOKA; CAMARGO, 2002, NEWBY et al., 1990).

Além disso, ocorrem picos de atividade solar (a cada onze anos aproximadamente) que podem tornar os efeitos da ionosfera e cintilação ainda mais significativos (principalmente na região do Brasil) onde já existe um alto índice de cintilação. O último pico de emissões solares ocorreu em 2013/2014 e os dados coletados pelas diversas instituições de pesquisa podem contribuir para a elaboração de um futuro modelo da ionosfera ou das bolhas ionosféricas.

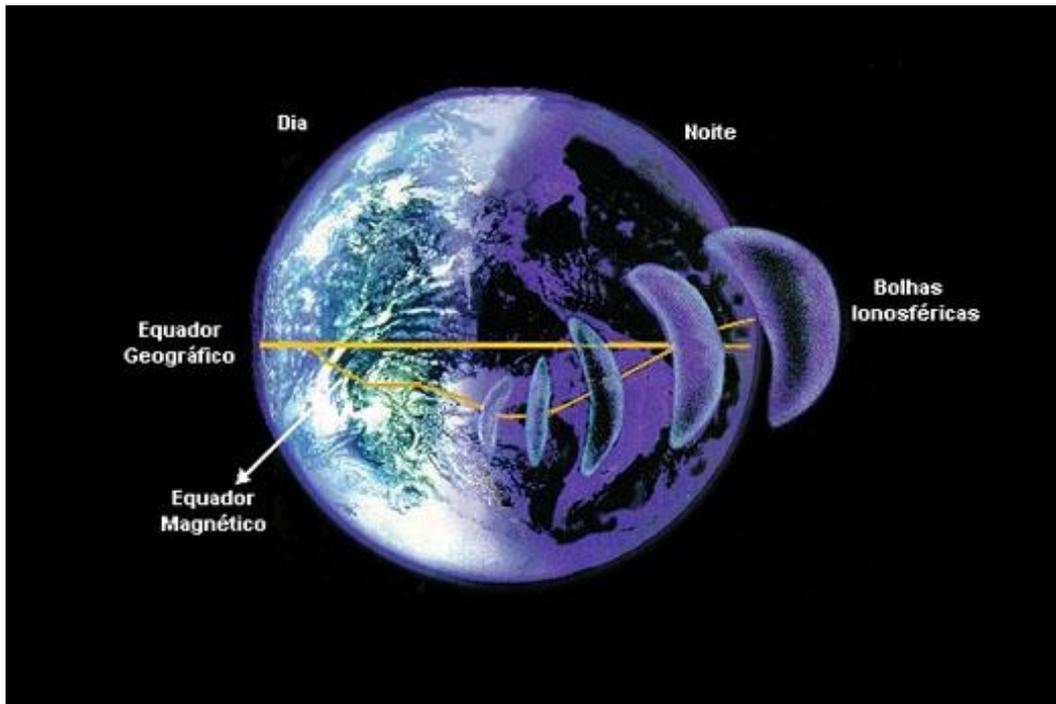


Figura 4.4 - Formação das bolhas ionosféricas

Fonte: INPE (2015)



Figura 4.5 - Ciclo solar

Fonte: Adaptado de Apollo 11 (2008)

Como já verificado por intermédio de fórmulas, o erro associado à ionosfera é diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC) presente ao longo da trajetória percorrida pelo sinal na ionosfera e inversamente proporcional ao quadrado da frequência do sinal. O TEC e o erro devido à ionosfera variam no tempo e no espaço e são influenciados por diversas variáveis, principalmente o ciclo solar. Durante a atividade solar máxima e para satélites próximos ao horizonte, o erro devido à ionosfera nas distâncias medidas pelo GPS pode ser maior que 100 m (NEWBY; LANGLEY, 1992). A ionosfera não só degrada a acurácia (estimativa da distância entre a medida e o valor real) e a precisão (intervalo de confiança da previsão) do GPS como, também, reduz a sua integridade, pois existe uma alta dependência entre perdas do sinal e irregularidades ionosféricas (SKONE, 2000).

Os receptores de dupla frequência permitem efetuar correções do efeito da ionosfera, devido ao fato do erro ser dependente da frequência do sinal. Conforme já também explanado, o desvio de tempo para sinais de frequência diferente (tendo percursos com mesmo TEC) é $6,41 \text{ TEC } c^{-1}(f_1^{-2}-f_2^{-2})$. Como o TEC varia no tempo e pode ser próximo para ambos os sinais, a sua flutuação pode ser modelada por uma série de Fourier finita; se for feita uma regressão, a correção será mais confiável. Porém, receptores homologados de dupla frequência são equipamentos caros, fazendo com que os de uma frequência (receptores com a portadora L_1) ainda sejam amplamente empregados no posicionamento com GPS, embora estes receptores tenham a desvantagem de resultados serem mais afetados pelo efeito sistemático devido à ionosfera. Em princípio, em caso de cintilações fortes, a integridade de sinal é o problema mais sério em sistemas GPS, e persiste em receptores de dupla frequência, considerando que bolhas ionosféricas diferentes possam atuar nas duas frequências.

Com a proporcionalidade entre erro e frequência ao quadrado, tem-se que as diferenças entre posição correta e real obedecem à fórmula (CHIARADIA et al., 1998):

$$(p - p_1) f_1^2 = (p - p_2) f_2^2 \quad (4.5)$$

Onde p é a medida real; p_1 e p_2 são as posições obtidas com os códigos de frequência central f_1 e f_2 , respectivamente. De modo que, quando os percursos têm TEC comum, pode-se obter :

$$p = p_1 f_1^2 (f_1^2 - f_2^2)^{-1} - p_2 f_1^2 (f_1^2 - f_2^2)^{-1} \quad (4.6)$$

Ocorre que, apenas com duas frequências não se pode comprovar tal hipótese, do mesmo modo que não se pode adotar que uma regressão linear seja válida para um conjunto de dados apenas com dois pontos. Não se pode supor TEC comum sem que as várias combinações de pares de sinais que transitam pela ionosfera com frequências diferentes deem a mesma posição após se usar a correção da equação 4.6. Assim, para três frequências, tem-se três combinações duas a duas de frequências que podem ser colocadas na equação citada. Com estes três resultados pode-se, caso os erros entre eles sejam pequenos, adotar a hipótese de TEC comum e tomar a posição real como o valor médio entre as três posições obtidas. Talvez a média não seja a melhor ponderação, mas se o erro for pequeno isto não é relevante.

Estudos preliminares sobre o uso do GPS no sul do Brasil e na região equatorial mostraram que, nas Américas Central e do Sul, as medidas GPS são afetadas por várias condições ionosféricas, como por exemplo, o efeito da cintilação ionosférica e da anomalia equatorial (WANNINGER et al., 1991, 1993; CAMPOS et al., 1993).

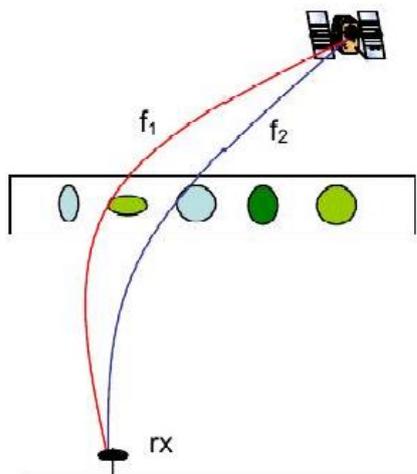


Figura 4.6 - Atuação das bolhas ionosféricas em dupla frequência.

Fonte: Skone et al. (2008)

Obviamente, seguindo o mesmo raciocínio do posicionamento relativo, pode-se afirmar que o desempenho do posicionamento DGPS também é muito dependente do comportamento da ionosfera (SKONE, 2000; GIZAWY, 2003). Poz (2005) mostrou a dependência e as limitações o desempenho do posicionamento relativo quanto à atividade ionosférica na região brasileira.

Pode-se afirmar que estas limitações persistem em sistemas como o WADGPS e WAAS. Um exemplo pode ser visto em Skone (1998), onde um sistema WADGPS canadense possuía limitações em determinados períodos devido às perturbações na atividade ionosférica na região auroral canadense. A partir de um estudo detalhado sobre o entendimento da variação do erro da ionosfera na região de interesse e dos fenômenos e irregularidades existentes, foram realizadas modificações no sistema WADGPS (como tese) buscando minimizar as limitações impostas pela ionosfera na região auroral canadense. Outro exemplo pode ser visto em Komjathy et al. (2003), onde se realizou uma avaliação da aplicação do WAAS no Brasil. Os resultados mostraram a limitação proporcionada pela

ionosfera na região brasileira na performance do WAAS, obtendo-se eficácia bem inferior do que a obtida nos Estados Unidos.

O Subdepartamento de Operações (SDOP) do Departamento de Controle da Espaço Aéreo (DECEA) do Comando da Aeronáutica deu início, em 2011, à campanha de análises da interferência da ionosfera na propagação dos sinais de navegação aérea por satélite com o uso do GBAS. Os estudos consistem na averiguação dos dados que propiciarão a efetiva correção dos sinais GPS, por meio da estação GBAS, já instalada no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. Há algum tempo o DECEA vem monitorando os resultados e êxitos do GBAS em outros países, bem como executando testes no protótipo do Galeão. No ano de 2012 ocorreram gestões por parte do DECEA para a transferência da pesquisa para o ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), em São José dos Campos, com a participação do IEAv (Instituto de Estudos Avançados) e ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica) do DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), e INPE. Segundo informações do DECEA, o enunciado da pesquisa é o seguinte:

“Monitorar a coleta e o armazenamento de informações acerca dos efeitos da ionosfera nos tempos de propagação do sinal do Sistema Global de Posicionamento (*Global Positioning System*, GPS) na região do Hemisfério Sul, o que possibilitará estudos e avaliações dos efeitos de tempestades solares, cintilações e bolhas na camada da ionosfera nesta região, suas variações regionais e sazonais, e a elaboração de um Modelo de Risco Ionosférico para o GBAS a ser homologado no Brasil” (DECEA, 2011).

Paralelamente a estas instituições de pesquisa, duas universidades também se dedicam ao estudo da ionosfera, que são: Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP, 2015), também situada em São José dos Campos e a Universidade Estadual Paulista (UNESP, 2013) de Presidente Prudente. Também foram realizados outros estudos, além dos

mencionados, relativos ao TEC e interferências nos sinais GPS (FARAH, 2002; MATSUOKA; CAMARGO, 2002). Apesar de todos estes esforços, ainda não há um modelo ionosférico que possa ser aplicado com precisão em todo o Brasil.

Segundo Silva et al. (2011), a localização das PCDs é efetuada através de um software, o qual processa os desvios *Doppler* sofridos pelo sinal transmitido pelas PCDs, com um método estatístico de mínimos quadrados. Os sinais de dados são transmitidos pelas PCDs para os satélites em frequência de banda UHF; então, o software é alimentado com os dados de desvio *Doppler* e as efemérides orbitais dos satélites. A Figura 4.7 demonstra o método de localização das PCDs, descrito a seguir.

Para cada medida Doppler corresponde a um cone sólido de localização, cuja intersecção com a esfera terrestre representa as possíveis posições do transmissor. A intersecção de dois cones na esfera de altitude fornece duas possíveis posições, em uma única passagem, representados pelos pontos P1 e P2. Para distinguir qual das duas posições é a correta, uma informação adicional é requerida, tal como, o conhecimento prévio aproximado da posição. Uma segunda passagem do satélite, com dados válidos, remove essa incerteza. Cada satélite vê simultaneamente todas as plataformas dentro de um cone sólido com círculo (alcance) de visibilidade de aproximadamente de 5.000 km. (CELESTINO et al., 2009, p. 1607)

A ionosfera também pode ser uma fonte importante de erros de localização destas plataformas. Foram verificados três estudos relativos aos efeitos ionosféricos sobre os dados de posição das PCDs. No primeiro estudo, realizado por Souza et al (2001), utilizando duas PDCs (uma na Guiana e outra em Cuiabá) foram simuladas as medidas de desvio *Doppler*, através do SCD-2 e da estação de recepção terrestre fixa

em Cuiabá, sendo obtidos erros na localização de $2,1 \pm 0,03$ km e $1,8 \pm 0,02$ km, com extremos entre 0,1 e 3,1 km, e 0,8 e 4,8 km (no máximo).

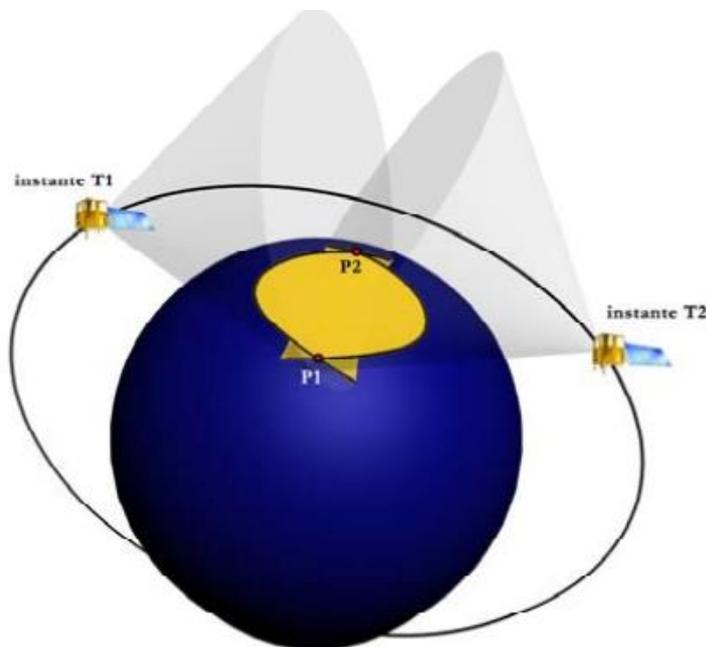


Figura 4.7 – Método de cone *Doppler*

Fonte: Celestino et al. (2009)

Outro estudo realizado por Celestino et al. (2006), tenta avaliar o efeito de problemas ionosféricos nesta determinação de posição. Este trabalho cita na sua Tabela 1, valores de erro em metros (distância) que variam de 187 a 582 m, porém utiliza na tabela a unidade da variação da distância (*range rate*) em m/s e não em m. O terceiro estudo, de Silva et al. (2011), consiste em um grupo de dados que utilizam uma PCD localizada em Cuiabá e o satélite SCD-2, levando-se em conta período de alta atividade solar em 2001 e período de baixa atividade solar em 2009. Os dados de desvio *Doppler* são simulados a partir da localização real dessa PCD e o efeito ionosférico é somado ao modelo que gera tais dados. Foram analisadas duas modelagens da ionosfera: IRI (*International Reference Ionosphere*) e IONEX (*Ionosphere map Exchange*). Segundo os dados obtidos, os valores do TEC do IONEX atingem valores maiores do que

100% em relação ao IRI, levando a uma correção ionosférica na localização da ordem de até 700 metros. Como a frequência das PCDs é muito menor que a dos sistemas GPS, os erros são proporcionais ao quadrado da frequência e o processo de determinação de posição é menos preciso que o do GPS, conclui-se que os dados do primeiro estudo (Souza et al., 2001) parecem refletir melhor estas características.

Após descrever as principais necessidades e problemas técnicos do GPS e das PCDs, pode-se iniciar a aplicação de métodos heurísticos, a fim de que os mesmos possam ser os instrumentos necessários para que soluções inovadoras possam ser analisadas com base na revisão da literatura e outras fontes de consultas posteriores.



Figura 4.8 - Localização de PCDs

Fonte: INPE (2015)

Estas soluções deverão atingir o objetivo principal do presente trabalho, que é o de superar ou minimizar os problemas relativos à ionosfera nos sistemas de posicionamento e coleta de dados baseados em tecnologia de satélites.

5. UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS E DE INOVAÇÃO (GPS E PCDs).

Todos os passos da TRIZ, Matriz de Pugh e AHP descritos na presente dissertação serão realizados conforme a revisão da literatura (ALTSHULLER, 1999; DEMARQUE, 2005; CARVALHO, 2008; BAMBACE, 2013; VIANNA, 2015). Os assuntos técnicos do GPS serão também baseados na revisão de literatura do item 3.1, podendo ocorrer acréscimos de referências no decorrer da aplicação do método.

5.1 Propostas de soluções (GPS)

5.1.1 TRIZ (matriz de contradição) e Matriz de Pugh no GPS.

Apresenta-se nesta seção os 8 passos da matriz de contradição e princípios inventivos de Altshuller descritos no item 2.3.1.1 para o problema de uso de GPS em navegação aeronáutica.

5.1.1.1 Reconhecimento do problema (GPS).

PASSO A - Descrever a necessidade de melhorar o sistema atual com base em uma análise multi tela, com foco em porque é tão difícil satisfazer a necessidade com os métodos tradicionais.

Observação: Quanto mais detalhada a descrição, maior a chance de se mencionar itens importantes ao problema que sejam relevantes para a identificação dos parâmetros em conflito. Descrições menos detalhadas não levam necessariamente à solução das dificuldades, pois se a lista de parâmetros não mudar, os passos de soluções finais não mudarão. O maior risco no caso de descrições mais sucintas é se gastar tempo para gerar uma solução já existente, algo relevante nos casos de desenvolvimento e de avaliação de processos de compra e aquisição. Ressalta-se que, aumentando o campo de possíveis soluções, reduz-se a

chance de editais restritos demais que involuntariamente favoreçam algum fornecedor específico.

O resultado da TRIZ é tanto melhor quanto mais completa for a descrição do problema e quanto melhor for a colocação das perguntas e respostas de cada etapa do processo. Com a utilização do referido método, há mais chance de se detectar as soluções parciais utilizadas ou encontrar uma chance de melhoria, caso haja possibilidade de se alterar as características dos equipamentos e softwares já existentes.

A descrição visa demonstrar (de maneira sucinta) o problema a ser resolvido, para uso no processo de busca pelo grupo de solução; o ideal é trabalhar sempre com 6 a 15 pessoas. No debate do grupo só entram itens que tenham respaldo na literatura e análises técnicas disponíveis. Estes itens são detalhados o mínimo o possível para que sejam destacadas as ideias e não seu detalhamento. Não se costuma colocar referências neste texto, para que o leitor se concentre ao máximo na descrição do problema. Tudo o que aparece nas descrições já foi referenciado anteriormente neste documento. O debate para a descrição em geral é documentado à parte para facilitar futuras revisões. No presente caso foram feitas seis descrições (D0 a D5) com enfoques ligeiramente diferentes para maximizar a chance de captura de soluções e minimizar o risco de se deixar de fora uma solução relevante por falha da descrição.

D0 – Descrição geral.

O sistema GPS possui satélites que emitem códigos pseudoaleatórios que permitem ao receptor saber o tempo de propagação entre o satélite e o receptor, de modo que com quatro sinais é possível saber, num dado momento, a posição relativa do receptor com base na posição tabelada de cada satélite com suas órbitas e dados de efemérides. A diferença de fase do código pseudoaleatório fornece um tempo de percurso que é

usado para calcular a distância do satélite ao receptor. Este cálculo é efetuado graças à hipótese de que a propagação das ondas eletromagnéticas entre o satélite e o receptor ocorra em linha reta, de que o receptor sempre detecte e demodule corretamente o sinal e que não haja falha na sincronização de códigos.

Ocorre que nem sempre a onda eletromagnética faz o caminho mais curto entre o satélite e o receptor, podendo surgir obstáculos. Os efeitos de rádio propagação que afetam a captura do sinal são refração ionosférica, multi caminhos ligados à própria ionosfera e à reflexão em obstáculos, cintilação e obstrução do sinal. O sinal pode sofrer refração na atmosfera, principalmente na ionosfera, o que faz com que este percorra um trajeto maior e chegue com um atraso mais elevado que o nominal; este fato leva a cálculos de distâncias entre o receptor e satélite maiores que os reais, a ponto de comprometer a precisão de determinada posição. Os sinais que se propagam em direções inicialmente diferentes podem sofrer diferentes difrações no percurso e atingir o receptor com diferenças de fase que dificultem a demodulação (multi caminho); se forem refletidos por uma serra ou item similar, também há multi caminho. Os efeitos mais críticos são provocados pela cintilação, que causa degradação nos sinais que atravessam a ionosfera e nos sinais GPS, com perdas de ciclos do sinal, devido ao enfraquecimento da potência recebida e da variação da fase. A refração ionosférica é intimamente ligada ao TEC e esta pode degradar a acurácia e a precisão do GPS, reduzindo a sua integridade, pois existe uma alta dependência entre perdas do sinal e irregularidades ionosféricas. Conjuntamente, TEC e cintilação podem degradar o sinal até um limiar onde há um erro inaceitável para certas aplicações, principalmente se forem consideradas as perdas repentinas do sinal.

A precisão intrínseca do GPS na L_1 (com erros de sincronismo de código de $1/3$ do período do mesmo) é de 98 m para antenas omnidirecionais, que pode ser reduzida a até 3% do período do código com antenas

inteligentes, na L_2 de frequência de código 10 vezes maior, os erros (em iguais condições) são 10 vezes menores. Dependendo da tecnologia do sistema de correlação, pode-se (em alguns casos) usar o efeito de raiz de n e baixar, em boas condições de radiopropagação, os erros do GPS, os quais podem cair a 15 metros na L_1 quando os efeitos forem aleatórios. Este efeito de raiz de n deixa de ser eficaz se os erros forem ligados a desvios tendenciosos ligados à propagação.

Assim, várias ações têm sido executadas para melhorar a localização por GPS, como trabalhar com mais de uma frequência (multifrequência) para estimar, sem confirmação da veracidade, o aumento de percurso por refração através das diferenças entre as propagações das frequências; calcular erros do GPS em pontos de posição conhecida para que a aeronave interpole o erro no espaço e melhore sua estimativa de posição (sistemas diferenciais); usar mais satélites graças ao fato de que vários sistemas similares já foram desenvolvidos; empregar modelos de ionosfera; utilizar acréscimos de informações de posição com sistemas de aeronaves e assim por diante, até englobar todos os sistemas. Só que todos estes métodos geram maiores custos e muitos deles têm problemas secundários como a questão do sinal ora ser muito fraco ou ora ocorrer saturação do receptor. Um dos principais objetivos é achar a posição de uma aeronave com precisão e acurácia suficientes para qualquer condição de operação da mesma e usando como base o sinal de GPS, mesmo em situações de forte refração ionosférica, sem nenhum outro problema adicional (desvantagem) e sem aumento relevante do custo da determinação de posição relacionado ao uso de sistemas auxiliares.

As medidas adotadas atualmente (mesmo não sendo definitivas) serão detalhadas, a seguir, para que o problema técnico possa ser melhor compreendido.

D1- Frequências múltiplas

Podem ser usadas uma ou mais frequências diferentes permitindo avaliar o erro ionosférico por modelos de variações de propagação de uma frequência para outra. Além do atraso de tempo, há o risco de uma bolha desviar o sinal que não é direcionado ao receptor, causando interferência com o sinal que o alcança (diretamente) sem passar por bolha alguma; ou interferências com sinais que passem por bolhas com características diferentes, que desviem mais ou menos o sinal (multi caminho). Os sistemas homologados de mais de uma frequência são caros, assim como sistemas que tentam calcular o erro no tempo com base em correlações com a direção de recepção do sinal e sua variação nas antenas (com combinadores); e também mais sujeitos a falhas por defeitos no sistema, pois eles serão tanto mais complexos quanto mais elaborados forem os subsistemas de compensação.

Para garantir que o cálculo de erro de posição seja feito apenas pelo usuário, independentemente de qualquer disponibilidade de outros serviços, pode-se usar os sistemas de dupla ou de múltipla frequência, que se baseiam no fato de que frequências diferentes têm refrações diferentes e que, com mais frequências, pode-se avaliar o erro de posição ionosférico com algum tipo de modelo. Se forem utilizados em aeronaves, a homologação de sistemas deste tipo é uma questão de política internacional. Sistemas de dupla frequência não podem calcular o atraso se houver multi caminho com interferência destrutiva muito forte em uma determinada frequência, já que neste caso só uma banda ficará disponível. Mas como é muito difícil que o multi caminho perdure, em geral pode-se fazer correções com duas ou mais frequências se a dinâmica da bolha for muito mais lenta que a do multi caminho e o TEC for comum. Antenas inteligentes podem evitar esta interferência se o afastamento angular entre os sinais de multi caminho for suficientemente alto, o que nem sempre acontece. Usar covariâncias diferentes nas

medidas de um satélite em função do risco de erro ionosférico que está mais alto ou mais baixo pode provocar diferença no resultado final.

A utilização de múltiplas frequências pode ser uma solução mais viável, porém podem surgir algumas desvantagens. Associado ao uso de outros meios, há problemas de maior custo devido ao maior número de unidades transmissoras e as questões do problema *near-far* e de disponibilidade de visada (*pseudolites*).

D2 - Sistemas diferenciais

Atualmente, os usuários da área da aviação utilizam os sistemas diferenciais. Com dois receptores separados de uma determinada distância (GPS diferencial) pode-se diminuir o erro para a faixa de 2,5 a 4 metros, dependendo da distância; este efeito se baseia na transmissão das diferenças dos sinais locais entre a posição real de estações fixas e os valores instantâneos de dados do GPS. Através do desvio de fase do sinal do GPS, pode-se chegar a precisões de 10 cm, mas apenas em condições de rádio propagação ideal. Quanto mais perto da cabeceira da pista estiver a fonte de dados sobre as diferenças entre a posição calculada e real, melhor a correção até o toque na pista. A ideia do GPS diferencial pode ser implementada com o apoio de satélites, sabendo-se a diferença entre posições medidas e reais, num dado instante, para pontos no solo. A informação é enviada a um satélite que, em contato com a aeronave, calcula diretamente as correções ou fornece a várias aeronaves próximas posições virtuais de GPS diferencial, como é o caso do SBAS. A qualidade da correção de sistemas diferenciais depende da grade de estações de apoio próximas à aeronave, seja o sistema baseado em comunicação com estações de solo ou baseado em comunicações com satélites. Em locais com poucas informações num dado instante, não se pode saber se há ou não uma bolha ionosférica presente e quais as correções. No caso de sistemas diferenciais, uma estação fixa calcula a

correção para sua posição e a transmite, e o receptor móvel tenta usar algum interpolador na correção de estações mais próximas para avaliar o erro do sinal de um dos satélites. Estes sistemas ajudam, mas possuem limitações, já que sinais de estações diferentes podem estar correlacionados, mas estarem sob a ação de bolhas diferentes. Eventualmente, fora de ambas as bolhas, o usuário móvel pode ter sinal direto sem correção; se duas estações focalizam o satélite com baixa elevação em direções muito próximas, elas têm alta chance de estar sob o efeito de uma mesma bolha.

A utilização de sistemas diferenciais (como o SBAS) ajuda a minimizar o problema dos efeitos da ionosfera, mas não possui uma solução definitiva para as regiões equatoriais, principalmente considerando-se os casos mais críticos de precisão e disponibilidade. As aeronaves, civis e militares, necessitam realizar pousos e decolagem com precisão de centímetros e não podem ter a perda do sinal, considerando que muitos aeroportos possuem um alto índice de tráfego aéreo. Principalmente no pouso, quando há uma maior exigência do piloto, a confiabilidade e precisão devem ser apuradas, pois é a fase do voo em que mais ocorrem acidentes. Outro fator importante é a questão de queda de energia e panes por raios de sistemas de apoio, que podem fazer a informação diferencial tornar-se indisponível.

Há estudos por parte de instituições de pesquisas para a utilização de um sistema diferencial em testes no Brasil, porém a sua operação depende de homologação que, em tese, só será obtida com a solução dos problemas apresentados. O principal fator a ser considerado é o modelo ionosférico que deve ser implantado no citado equipamento, que tem resultados imprecisos. Como os problemas ionosféricos são muito mais graves na região equatorial (onde não há nenhum país de alto desenvolvimento) faltam dados para estimativas de sucesso nas soluções que utilizem as propostas citadas.

D3- Modelo ionosférico

Para evitar o refinamento da grade de um sistema diferencial, tenta-se usar modelos ionosféricos que permitam saber, de algum modo, como são as características da bolha e como se desloca com um número menor de estações; os modelos mais modernos usam o TEC nas suas previsões. A ideia é que estes modelos permitam calcular correções para pequenos aeroportos sem qualquer tipo de instrumentação, inclusive verificação de diferenças entre sua posição GPS instantânea e posição real. O GNSS não consegue manter a precisão necessária, alcance global e funcionamento ininterrupto, devido (além da segurança) às características intrínsecas e limitação dos seguintes equipamentos: satélites (incluindo órbitas), antenas, transmissores, receptores e outros. Porém, uma das principais fontes de imperfeições são os efeitos que ocorrem na propagação do sinal, principalmente relativos à ionosfera. Estes efeitos são atualmente compensados com modelos ionosféricos e sistemas diferenciais, que são aplicados com mais eficiência em regiões distantes do Equador. No Brasil, estas soluções não atendem aos padrões de precisão e disponibilidade da ICAO devido à ionosfera apresentar um TEC bem maior, característico das regiões equatoriais, que geram maiores desvios do sinal nesta camada e erros de posição maiores que aqueles de regiões temperadas do globo.

Há estudos científicos não conclusivos quanto à propagação e correção com base em modelos de carga total de elétrons (TEC) e modelos teóricos de ionosfera. Atualmente ainda há erros não aceitáveis para operações aeronáuticas críticas com todos os sistemas disponíveis que somente façam uso de uma única banda do GPS e mais nenhuma outra fonte de dados.

D4 - Inclusão de outros sistemas de satélites

Há uma perspectiva de que, além dos 24 satélites operacionais do GPS e outros 24 do GLONASS, estejam disponíveis a nível mundial mais 24 do GALILEO e 35 do BEIDOU. Estes sistemas apresentam algumas características semelhantes, porém os parâmetros podem variar conforme a Tabela 3.1, que apresenta diferenças entre o GPS e GLONASS. Mas, infelizmente, a homologação de equipamentos capazes de operar com mais de um sistema é dependente de políticas de governos que querem garantir mercado para suas indústrias, e assim se esperam dificuldades legais para operação com mais satélites que aqueles do GPS; pode ocorrer a obrigatoriedade de equipamentos compatíveis com todos os sistemas para aeronaves que voam apenas no Brasil ou registradas no Brasil, mas não as operadas por empresas estrangeiras.

Para exemplificar as dificuldades de integração dos sistemas, pode-se utilizar ainda o caso do GPS e GLONASS. As diferenças entre os dois sistemas devem ser consideradas para uma combinação entre os mesmos. Como primeiro exemplo, pode-se citar o sistema de transmissão empregado, que é o CDMA (*Code Division Multiple Access*) no GPS e FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) no GLONASS. No GPS há técnicas de segurança com o propósito de gerar erros na determinação de coordenadas para os usuários não autorizados, conforme já comentado. No caso do GLONASS, há uma distinção entre os sinais de alta acurácia e sinal de acurácia padrão, destinados aos usuários autorizados e não autorizados, respectivamente. Há também diferenças nos sistemas de tempo que, no GPS, é baseado no Tempo Universal Coordenado mantido pelo U. S. *Naval Observatory* [(UTC (USNO))] e, no GLONASS, baseia-se no Tempo Universal Coordenado mantido pela Rússia [(UTC (SU))]. Os dados obtidos com o rastreamento dos satélites (sistemas de referência) também apresentam diferenças : o GPS fornece posições relacionadas ao sistema de referência WGS-84 (*World Geodetic*

System), enquanto as efemérides fornecidas pelo GLONASS são do sistema de referência PZ-90 (*Parametry Zemli 1990*). Assim, no caso de utilização combinada dos dois sistemas deve-se levar em conta o conhecimento dos parâmetros de transformação que relacionem os dois referenciais (Geodésia e Navegação). O uso combinado dos dois sistemas ou ainda outros está sujeito a estudos científicos e, apesar das soluções apresentadas na literatura internacional, ainda não há uma solução satisfatória em termos globais. Há vantagens oferecidas pelo uso combinado GPS/GLONASS, em função da maior disponibilidade de satélites. A redundância proporcionada permite melhor desempenho, devido à maior quantidade de satélites visíveis nas porções desobstruídas de efeitos ionosféricos da atmosfera e também permite a avaliação de erros.

D5- Sistemas de aeronaves

A aeronave possui uma série de instrumentos de localização, como feixes de radiofrequência não direcionais com detector automático de direção (NDB/ADF – *Non direcional Beacon/Automatic Direction Finder*), que permitem à mesma calcular sua posição pelas direções conhecidas de NDB ou estações de radiodifusão comerciais em banda análoga, dadas as posições destas estações. O ILS possui, em aeroportos maiores, dois feixes de frequências diferentes para que a aeronave calcule sua posição, com relação ao eixo da pista nas direções paralela e perpendicular ao solo. Este sistema permite ao piloto saber se o ângulo de aproximação vertical e posição lateral com relação ao eixo da pista estão corretos; os marcadores ajudam a obter a distância da cabeceira da pista ou a posição na pista. Outro instrumento disponível no momento, mas com perspectivas de ser substituído por uma nova versão mais precisa é o VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*), onde há um sinal omnidirecional e outro rotativo; pela diferença de fase entre os sinais, a aeronave tem a direção de aproximação com relação ao

aeroporto com certo grau de erro; a taxa de medida depende da rotação da antena do aeroporto, que tem períodos de 4 a 12 segundos. Há também o sistema DME (*Distance Measuring Equipment*), equipamento medidor de distância que é um transceptor capaz de se comunicar com 100 a 200 transceptores de aeronaves, e que pelas diferenças de fase e tempo de propagação do sinal fornece a cada aeronave a distância à sua antena de emissão com erro de 30 metros. As aeronaves possuem altímetros com princípios mecânicos que dependem da pressão atmosférica na cabeceira da pista; se for altímetro aeronáutico, o erro será de 28,4 pés ou 9,7 metros. A aeronave pode ter um radioaltímetro, altímetro a laser ou sistema que forneça alarme quando a aeronave está a uma altura específica acima do solo. O nível de integração entre os diversos equipamentos é muito baixo, de forma que a aeronave não pode integrar todas as informações para aumentar a precisão de determinação de sua posição com os equipamentos homologados atualmente

O objetivo dos sistemas GPS é permitir pousos seguros com o mínimo de apoio do aeroporto, o que permitiria que aeroportos secundários se tornassem mais seguros e aptos a operar em condições de visibilidade mais adversa. A ideia dominante hoje é que, aparentemente, este objetivo não pode ser feito de forma tão simples somente com o GPS, já que sistemas diferenciais e outros itens exigem suporte de solo, e mesmo sistemas como o SBAS necessitam de informações sobre o que ocorre nas proximidades do local de pouso para efetuar correções a partir de estações de solo. Uma análise mostra que o GPS pode ser combinado a qualquer outro sistema de apoio a pouso disponível em aeroportos ou aeronaves, mas existe sempre a questão de homologação, que tem fatores políticos. Nada impede a aeronave de possuir um equipamento não homologado, além dos regulamentares. A questão é a do seguro em caso de acidente, em condições de pouso diferentes daquelas permitidas com o equipamento homologado. Deve-se ressaltar que a exigência de

erro lateral pode ser mais apertada para helicópteros, dependendo do local de pouso. Se estes possuíssem dados sobre este local (mesmo sem qualquer apoio do aeroporto e usando recursos já disponíveis na região) poderiam pousar e decolar com muito mais segurança se as informações pudessem ser integradas de forma diferente da que ocorre atualmente.

Há ainda os sistemas internos que podem fornecer dados de posição a serem integrados às informações do GPS. Neste sistema, conforme revisão da literatura, com três círculos se obtém possíveis posições para o receptor com relação às coordenadas de três satélites, mas o receptor não tem condições de trafegar, em curto prazo, de uma das possíveis posições a outra. Os sistemas de determinação de posição do GPS podem usar quatro satélites e calcular diretamente a posição, usando filtros de *Kalman*, para atualizar a nova posição com base na última calculada. Pode também ser usado algum modelo de propagação da posição do receptor ou variações calculadas entre uma recepção e outra por parte de uma plataforma inercial de acelerômetros e giroscópios. Assim, há a possibilidade de se efetuarem cálculos com os dados do sinal de cada satélite que entra e os modelos de propagação de posição, caso em que a informação vinda de um satélite é processada assim que recebida sem a obtenção formal da posição com dados de quatro satélites. Porém, as incertezas dos dados de cada satélite podem ser diferentes. O que se deseja é um sistema de apoio a pouso o mais barato possível que permita a todo e qualquer aeroplano pousar com segurança em situações de baixo teto e visibilidade; eventualmente útil a helicópteros que necessitam pousar com teto zero em operações de emergência.

PASSO B- Resumir as dificuldades com os métodos tradicionais na forma de contradições.

Tabela 5.1 – Resumo das dificuldades do GPS

Métodos tradicionais	Contradições
Utilizar receptores de múltipla frequência no GPS, melhorando o desempenho do filtro com covariâncias de medida de <i>pseudorange</i> diferentes, dependendo do modelo de frequências.	<ul style="list-style-type: none"> a) Multi caminho, <i>near far</i> e necessidade de visada. b) Perda do sinal por cintilação. c) Homologação de equipamentos. d) Alteração dos algoritmos do receptor. e) Maior custo das unidades transmissoras e complexidade de processamento. f) TEC desigual nas frequências.
Implementar SBAS (sistema diferencial com GPS/GLONASS e uma rede de estações terrestres)	<ul style="list-style-type: none"> a) Infraestrutura e recursos adicionais (equipamentos, pessoal especializado, <i>know-how</i>, área útil). b) Estudos mais apurados para definir os parâmetros, principalmente se será espacial ou terrestre (ou ambos). c) Grade de estações terrestres compatíveis com a qualidade do sinal desejada. d) Perda do sinal por cintilação, quedas de energia e panes de sistemas por raios.
Aumentar o número de satélites disponíveis, complementando o GPS (GLONASS/GALILEO/BEID OU)	Solução que depende de fatores diversos como homologação, decisões políticas e processos de adaptação, que seriam desnecessários se os dados forem idênticos ao do GPS.
Descobrir um modelo ionosférico que seja mais eficiente na superação dos efeitos do TEC, bolhas ionosféricas e cintilações.	<ul style="list-style-type: none"> a) Efeitos mais acentuados da ionosfera devido ao país estar localizado em região equatorial. b) Pesquisa complexa, considerando que ainda não há estudos conclusivos sobre o comportamento do TEC e bolhas ionosféricas. c) Consideração do ciclo de manchas solares, que ocorre a cada onze anos (aproximadamente).

(Continua)

Tabela 5.1 – Continuação.

Efeitos nocivos da ionosfera: TEC, bolhas ionosféricas e cintilações.	
Métodos tradicionais	Contradições
Utilizar os princípios de operação dos auxílios à navegação aérea para complementar as informações do GPS.	a) Análise de quais princípios poderão ser utilizados e como implementá-los. b) Baixo nível de integração entre os diversos equipamentos. a) Complexidade da integração e necessidade de homologação.

5.1.1.2 Análise do problema (GPS)

PASSO C – Definir os elementos em conflito (produto/ferramenta) para cada contradição apontada.

Tabela 5.2 - Elementos em conflito das contradições (GPS)

Efeitos nocivos da ionosfera: TEC, bolhas ionosféricas e cintilações		
Soluções atuais	Elementos em conflito	
	Produto	Ferramenta
Utilizar receptores de múltipla frequência no GPS, melhorando o desempenho do filtro com covariâncias de medida de <i>pseudorange</i> diferentes, dependendo do modelo de frequências.	Número de frequências (homologação) e multi caminho.	<i>Near far</i> , visada, algoritmos, unidades transmissoras e processamento.

(Continua)

Tabela 5.2 -Continuação

Soluções atuais	Elementos em conflito	
	Produto	Ferramenta
Implementar SBAS (sistema diferencial com GPS/GLONASS e uma rede de estações terrestres).	Quantidade de equipamentos e infraestrutura.	Recursos adicionais, grade de estações terrestres, perda do sinal e estudos técnicos.
Aumentar o número de satélites disponíveis, complementando o GPS (GLONASS/GALILEO/BE I-DOU)	Tipos de sistemas de satélites, homologação e decisões políticas.	Diferença de parâmetros técnicos.
Descobrir um modelo ionosférico que seja mais eficiente na superação dos efeitos do TEC e bolhas ionosféricas e cintilações.	Modelo ionosférico.	Efeitos mais acentuados da ionosfera na região equatorial (bolhas ionosféricas) e pesquisa complexa.
Utilizar os princípios de operação dos auxílios à navegação aérea para complementar as informações do GPS.	Princípios de operação dos auxílios à navegação aérea e homologação.	Nível/complexidade da integração.

PASSO D - Colocar a contradição escolhida na forma: **precisa-se melhorar** o parâmetro [A] **de modo a atender** a necessidade [b], **mas com isto** se deteriora o parâmetro [B].

a) Objetivo geral - Precisa-se melhorar a precisão do GPS **de modo a atender** a necessidade de se reduzir ou eliminar os erros nas medidas de posição devidos ao TEC, bolhas ionosféricas e cintilações, sejam estes erros devidos a cada um deles agindo

isoladamente ou de forma combinada, **mas com isto** há problemas relativos a:

- efeitos mais acentuados da ionosfera na região equatorial (bolhas ionosféricas), cintilações, *near far*, multi caminho e visada;
- homologação, implementação e compatibilização de multi-frequências, tipos de sistemas de satélites e princípios de operação dos auxílios à navegação aérea;
- quantidade/qualidade da infraestrutura necessária, unidades transmissoras/receptoras e de processamento, incluindo algoritmos; e
- necessidade de estudos técnicos mais detalhados sobre modelo ionosférico e parâmetros envolvidos nos sistemas de satélites e sua interação com a ionosfera.

b) Objetivo específico - Precisa-se achar um modo de obter a posição de uma aeronave com receptores GPS de modo a atender os requisitos de usuários em suas operações mais críticas, que não tenha custos elevados, elimine os efeitos de TEC, bolhas ionosféricas e cintilações, combinados e não tenha nenhum efeito nocivo adicional como problemas de: saturação ou dificuldade de detecção do sinal com a variação da distância (*near far problem*); perdas de visada entre o receptor e o emissor; necessidade de muitos recursos adicionais; grade extensa de estações terrestres e perda do sinal.

c) Objetivo resumido - Remodelar o sistema de GPS de modo que se tenha precisão satisfatória e custo baixo.

d) Levantamento de recursos – Abrangendo os sistemas globais anteriores, atuais e futuros.

Tabela 5.3 Levantamento de recursos (GPS)

Sistema Global anterior	Sistema Global atual	Sistema Global futuro
1)Atmosfera 2)Ionosfera 3)Gravidade 4)Solo 5)Relevo 6) Espaço	1)Atmosfera 2)Ionosfera 3)Gravidade 4)Solo 5)Relevo 6) Espaço	1)Atmosfera 2)Ionosfera 3)Gravidade 4)Solo 5)Relevo 6) Espaço
Sistema anterior	Sistema atual	Sistema futuro
Referências no céu e na terra. Mapas e equipamentos.	GNSS e auxílios à navegação. Mapas e equipamentos	GNSS. Novas soluções.
Subsistemas anteriores	Subsistemas atuais	Subsistemas futuros
1) Corpos celestes 2) Bússola 3) Plantas e mapas 4) Referenciais geográficos 5) Instrumentos 6) Memoriais de cálculo.	1) Satélites 2) Transmissores e receptores de satélite 3) Mapas virtuais 4) Referenciais geográficos 5) Equipamentos e instrumentos. 6) Auxílios à navegação 7) GNSS, DGPS e DGNSS 8) Antenas específicas 9) Algoritmos de cálculos	1) Satélites 2) Transmissores e receptores de satélite 3) Mapas virtuais 4) Referenciais geográficos 5) Equipamentos e instrumentos. 6) Auxílios à navegação 7) GNSS, DGPS e DGNS 8) Antenas específicas 9) Algoritmos de cálculos 10) Sistemas de comunicação 11) Efeito <i>Doppler</i> 12) Antenas e refletores alternativos 13) Modelos matemáticos de comportamento 14) Equipamentos das aeronaves. 15) Subsistemas automatizados.

PASSO E - Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou eliminar (resultado indesejado)[B].

PASSO F - Ir para a linha da matriz com o título [A], e buscar a coluna de título [B], usando os princípios inventivos listados na célula M[A],[B]- Figura 2.5.

Observação: Os passos E e F serão aplicados de acordo com a aplicação da Matriz de Pugh, a seguir.

- a) **Aplicação da Matriz de Pugh para o caso do GPS.** Para efetuar uma análise mais detalhada das propostas atuais de solução do problema técnico apresentado, pode-se utilizar a matriz de Pugh como um método inicial para que as contradições possam ser melhor compreendidas e surjam novas soluções com a aplicação conjunta dos procedimentos da TRIZ.

Conforme itens 5.1.1.2 e 5.1.1.3, pode-se enumerar algumas propostas de soluções atuais a fim de se considerar critérios como viabilidade técnica, custo estimado, benefícios futuros, manutenção, infraestrutura, implementação e complexidade. Como as análises possam conter certo grau de subjetividade, a tabela a seguir esclarece melhor os critérios. No resultado final, a TRIZ poderá ser utilizada para as melhores soluções, considerando seus pares, onde surgirão também outras propostas de soluções em função da utilização do método, as quais serão incluídas à medida que surgirem.

A seguir, as tabelas com as cinco propostas iniciais. Todas as outras propostas também foram incluídas por motivos de compreensão do método, porém as mesmas foram surgindo de acordo com os comentários que serão enunciados durante a presente dissertação. Quando cada proposta surgir, este fato será destacado (cor vermelha) em cada tabela de comentários.

Tabela 5.4 – Propostas de soluções (GPS)

PROPO- S-TAS	DESCRIÇÃO
P1	Utilizar receptores de múltipla frequência no GPS.
P2	Implementar SBAS (sistema diferencial com GPS/GLONASS e uma rede de estações terrestres).
P3	Aumentar o número de satélites disponíveis, complementando o GPS (GLONASS/GALILEO/BEIDOU).
P4	Descobrir um modelo ionosférico que seja mais eficiente na superação dos efeitos do TEC, bolhas ionosféricas e cintilações.
P5	Utilizar os princípios de operação de auxílios à navegação aérea para complementar as informações do GPS.
P6	Implementar um sistema diferencial de GPS com rede de estações terrestres
P7	Usar filtro ou realizar integração da velocidade da aeronave.
P8	Implementar um sistema com desvio planejado do sinal por antena inflável.
P9	Utilizar balões e VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) como referência de localização, a fim de complementar o GPS.
P10	Utilizar sistema inercial e de determinação da altitude das aeronaves para complementar os dados de posição, auxiliando o GPS.
P11	Utilizar efeito <i>Doppler</i> para complementar informação de posição da aeronave e, eventualmente, acelerômetros e modelos de inércia para melhoria de resultados do GPS.
P12	Implementar um sistema diferencial de GPS com <i>pseudolites</i> ativos e/ou passivos.
P13	Coletar informações de posição estabelecendo como referências estações de radiodifusão e estações de celular.
P14	Uso de nanossatélites para fornecer dados de posição, praticamente livres de efeitos ionosféricos
P15	Utilizar sinais provenientes do GPS, aeronaves e outros equipamentos para realizar mapeamento da bolha ionosférica

Tabela 5.5 – Critérios para análise das propostas iniciais (GPS)

CRITÉRIOS INICIAIS	OBSERVAÇÕES
VIABILIDADE TÉCNICA	Análise da proposta que possui maior probabilidade de ser realizada ou desenvolvida com êxito na área técnica
CUSTO ESTIMADO	Análise do custo estimado de desenvolvimento de projetos e melhoria de equipamentos, sem considerar o custo de sistemas de controle de satélites, autorizações de funcionamento, homologações e certificações.
BENEFÍCIOS FUTUROS	Análise de qual opção pode gerar mais benefícios, a mais usuários durante um maior período de tempo.
MANUTENÇÃO	Análise das propostas considerando estimativas de recursos materiais e serviços que sejam necessários para manter a operação do sistema.
INFRAESTRUTURA	Análise das propostas em função do número e disposição de equipamentos e softwares necessários para a implementação do sistema.
IMPLEMENTAÇÃO	Análise das propostas em função da dificuldade em instalar equipamentos e softwares necessários para o correto funcionamento.
COMPLEXIDADE	Análise do tempo, recursos humanos e materiais, assim como embasamento teórico necessários para a implementação do sistema proposto.

Nas tabelas 5.6 a 5.10, verifica-se qual a melhor opção de referência através de equilíbrio de itens melhores e piores que os da referência.

Tabela 5.6 – Matriz de Pugh com DATUM P1

Critérios	Conceitos alternativos				
	P1 (+ FREQ)	P2(SBAS)	P3 (+SAT)	P4 (MOD ION)	P5 (AUX NAV)
VIABILIDADE TÉCNICA		0	-1	-1	-1
CUSTO ESTIMADO	D	-1	0	-1	-1
BENEFÍCIOS FUTUROS	A	-1	0	-1	-1
MANUTENÇÃO	T	-1	-1	-1	-1
INFRAESTRUTURA	U	-1	0	0	-1
IMPLEMENTAÇÃO	M	-1	0	1	-1
COMPLEXIDADE		-1	-1	-1	-1
Soma dos Positivos	0	0	0	1	0
Soma dos Negativos	0	-6	-3	-5	-7
TOTAL	0	-6	-3	-4	-7

Tabela 5.7 – Matriz de Pugh com DATUM P2

Critérios	Conceitos alternativos				
	P1 (+ FREQ)	P2(SBAS)	P3 (+SAT)	P4 (MOD ION)	P5 (AUX NAV)
VIABILIDADE TÉCNICA	0		0	-1	-1
CUSTO ESTIMADO	1	D	1	-1	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	1	A	0	1	1
MANUTENÇÃO	1	T	0	1	1
INFRAESTRUTURA	1	U	1	1	1
IMPLEMENTAÇÃO	1	M	1	1	1
COMPLEXIDADE	1		1	-1	-1
Soma dos Positivos	6	0	4	4	5
Soma dos Negativos	0	0	0	-3	-2
TOTAL	6	0	4	1	3

Tabela 5.8 – Matriz de Pugh com DATUM P3

Critérios	Conceitos alternativos				
	P1 (+ FREQ)	P2(SBAS)	P3 (+SAT)	P4 (MOD ION)	P5 (AUX NAV)
VIABILIDADE TÉCNICA	1	0		-1	0
CUSTO ESTIMADO	0	-1	D	-1	-1
BENEFÍCIOS FUTUROS	0	0	A	1	1
MANUTENÇÃO	1	0	T	1	1
INFRAESTRUTURA	0	-1	U	0	0
IMPLEMENTAÇÃO	0	-1	M	-1	0
COMPLEXIDADE	1	-1		-1	-1
Soma dos Positivos	3	0	0	2	2
Soma dos Negativos	0	-4	0	-4	-2
TOTAL	3	-4	0	-2	0

Tabela 5.9 – Matriz de Pugh com DATUM P4

Critérios	Conceitos alternativos				
	P1 (+ FREQ)	P2(SBAS)	P3 (+SAT)	P4 (MOD ION)	P5 (AUX NAV)
VIABILIDADE TÉCNICA	1	1	1		1
CUSTO ESTIMADO	1	1	1	D	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	1	-1	-1	A	-1
MANUTENÇÃO	1	-1	-1	T	0
INFRAESTRUTURA	0	-1	0	U	0
IMPLEMENTAÇÃO	-1	-1	1	M	0
COMPLEXIDADE	1	1	1		1
Soma dos Positivos	5	3	4	0	3
Soma dos Negativos	-1	-4	-2	0	-1
TOTAL	4	-1	2	0	2

Tabela 5.10 – Matriz de Pugh com DATUM P5

Critérios	Conceitos alternativos				
	P1 (+ FREQ)	P2(SBAS)	P3 (+SAT)	P4 (MOD ION)	P5 (AUX NAV)
VIABILIDADE TÉCNICA	1	1	0	-1	
CUSTO ESTIMADO	1	-1	1	-1	D
BENEFÍCIOS FUTUROS	1	-1	-1	1	A
MANUTENÇÃO	1	-1	-1	0	T
INFRAESTRUTURA	1	-1	0	0	U
IMPLEMENTAÇÃO	1	-1	0	0	M
COMPLEXIDADE	1	1	1	-1	
Soma dos Positivos	7	2	2	1	0
Soma dos Negativos	0	-5	-2	-3	0
TOTAL	7	-3	0	-2	0

Por intermédio da matriz de Pugh anterior, nota-se que a referência que apresentou maior equilíbrio foi a proposta de inclusão de utilização de princípios de navegação aérea (P5), com duas propostas negativas (P2/P4), uma neutra (P3) e uma positiva (P1). O equilíbrio foi alcançado já que a soma dos pontos positivos foi (+7) e dos negativos (-5), com uma diferença de (-2). As propostas que apresentaram resultado positivo ou neutro em relação à referência foram P1/P3/P5, considerando a inclusão de mais frequências ou de mais satélites. Como prevê a revisão da literatura sobre matriz de Pugh, pode-se realizar comparação par a par a fim de iniciar a aplicação da TRIZ, com contradições mais claras, a fim de aumentar o número de princípios inventivos (propostas de soluções). Assim serão verificadas as contradições entre propostas (duas a duas) desconsiderando-se as propostas negativas e estudando-se as contribuições das propostas positivas ou neutras para detecção da solução final.

Primeiramente, será considerada a TRIZ para as soluções **P1 e P3**. Já que o problema foi descrito anteriormente, definindo os parâmetros iniciais, pode-se partir diretamente para o desenvolvimento do método.

PASSO E1 – Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou eliminar (resultado indesejado) [B].

Parâmetros da engenharia que podem estar envolvidos:

9- Velocidade – propagação dos sinais do satélite (P1/P3).

22 – Perda de energia – propagação dos sinais do satélite (P1/P3).

24- Perda de informação – propagação dos sinais do satélite (P1/P3).

25- Perda de tempo - propagação dos sinais do satélite (P1/P3).

27 – Confiabilidade – dos satélites/antenas/receptores (P1/P3).

28 – Precisão de medição – dos receptores de satélites (P1/P3).

29 – Precisão de fabricação - dos satélites novos que serão incluídos no sistema (P3).

30 – Fatores prejudiciais atuando no objeto – TEC, bolhas ionosféricas e cintilações atuando nos receptores de sinais de satélites (P1/P3).

34 – Manutenibilidade - dos transmissores e receptores com mais de uma frequência (P1).

35 – Adaptabilidade – inclusão de novas frequências e de novos satélites no sistema (P1/P3).

a) O que se quer eliminar: 22, 24, 25, 30

b) O que se quer melhorar : 9,27,28,34 e 35.

- c) Casos de teste: 22x9, 22x27, 22x28, 22x34, 22x35, 24x9, 24x27, 24x28, 24x34, 24x35, 25x9, 25x27, 25x28, 25x34, 25x35, 30x9, 30x27, 30x28, 30x34, 30x35.

Observação: Quando aparecer a simbologia xxx significa que não há sugestões de princípios inventivos para o par de parâmetros de engenharia selecionado na tabela.

PASSO F1 - Aplicação da TRIZ: Ir para a linha da matriz com o título [A], e buscar a coluna de título [B], usando os princípios inventivos listados na célula M[A],[B] - Figura 2.5.

Tabela 5.11 – Utilização da tabela de princípios inventivos (P1/P3)

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS	
22 x 9 = 14, 19, 20, 35	24 x 9 = 13, 26
22 x 27 = 10, 11, 35	24 x 27 = 10, 28
22 x 28 = 26, 27, 32	24 x 28 = xxx
22 x 34 = 1, 15, 19, 32	24 x 34 = xxx
22 x 35 = 1, 15, 18	24 x 35 = xxx
25 x 9 = xxx	30 x 9 = 1, 23, 28, 35
25 x 27 = 4, 10, 30	30 x 27 = 2, 27, 35, 40
25 x 28 = 24, 28, 32, 34	30 x 28 = 22, 24, 26, 28
25 x 34 = 1, 10, 25, 32	30 x 34 = 2, 10, 16, 35
25 x 35 = 28, 35	30 x 35 = 11, 31, 32, 35

Tabela 5.12 – Histograma de princípios inventivos (P1/P3)

SEQ- SEQUÊNCIA DOS PRINCÍPIOS / ENG- N° DO PRINCÍPIO/ REF- N° DE REFERÊNCIAS AO PRINCÍPIO													
SEQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ENG	35	10	28	32	1	26	2	11	15	19	24	27	4
REF	7	5	5	5	4	3	2	2	2	2	2	2	1
SEQ	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
ENG	13	14	14	16	18	20	22	23	30	31	34	40	
REF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

5.1.1.3 Síntese dos conceitos de solução (GPS)

PASSO G1 – Aplicar a lista de princípios inventivos. Verificar as combinações de parâmetros e quais as ações sugeridas com maior frequência. Estabeleceu-se para o caso em questão (como ponto de corte) o número mínimo de três referências, obtendo-se os seguintes princípios inventivos, na ordem :

Tabela 5.13 – Aplicação dos princípios inventivos (P1/P3)

SEQ.	N° DO PRINCÍPIO INVENTIVO	N° DE REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO INVENTIVO
1	35	7	Mudança de parâmetros e propriedades
2	10	5	Ação prévia
3	28	5	Substituição de meios mecânicos
4	32	5	Mudança de cor
5	1	4	Segmentação ou fragmentação
6	26	3	Cópia

PASSO H1 – Interpretar as recomendações de uso de princípios inventivos/ações e lista de conceitos de funcionamento de soluções sem detalhes. A seguir serão interpretadas, conforme revisão da literatura e referências adicionais, o uso dos princípios de engenharia para o caso do GPS.

- a) **Como resolver o problema com mudança de parâmetros e propriedades (35).** Mudar propriedades físico-químicas, estado físico, consistência, concentração, flexibilidade, temperatura, pressão ou outro parâmetro qualquer para viabilizar algo.

Tabela 5.14 – Princípio de mudança de parâmetros/propriedades (P1/P3)

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
Ao analisar o caso identifica-se os seguintes parâmetros: frequência de aquisição de dados, dimensões lineares, área e volume da bolha, dimensões lineares e área da antena, número de informações processadas em cada passo, total de bandas do GPS usadas, total de satélites, total de elementos de apoio processados (extras) e algoritmos de interpolação.	
Mudar o número de frequências, trazendo maior precisão, melhor resistência às interferências e aumento de desempenho aos usuários em todo o mundo. (WANG et al., 2005)	P1
Mudar o número de satélites, proporcionando mais diversidade de sinais com novos trajetos, com a inclusão de sistemas como o GLONASS, GALILEO, BEIDOU ou outros complementares.	P3
Mudar o modelo ionosférico, já que os atuais não possuem a precisão necessária para algumas aplicações (não são tão eficientes para o caso de regiões equatoriais).	P4

(Continua)

Tabela 5.14 – Continuação

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>Mudar parâmetros de posição. Estimar altitude e distância é uma das características das aeronaves militares e dos satélites, que já utilizam este parâmetro com eficiência. Uma proposta viável seria a utilização de auxílios à navegação aérea neste princípio inventivo. O sistema atual do DME opera na faixa de UHF, determinando a distância entre a aeronave e a antena da estação por intermédio da emissão (pela aeronave) de pares de pulsos numa frequência pré-determinada; o transceptor da estação responde com pares de pulsos emitidos em outra frequência. Um algoritmo converte a diferença de tempo entre a emissão da interrogação e a recepção da resposta do transceptor em distância. Assim, a aeronave poderá dispor de mais uma informação de distância e, conseqüentemente, de posição. A principal desvantagem do DME convencional é a oscilação de tempo de resposta dos transceptores da aeronave e aeroporto, sendo que o ideal seria somente a reflexão da estação. (CORREIA,1997; FERNANDES, 2006)</p>	<p>P5</p>
<p>Mudar parâmetros dos dados de posição para estações terrestres. Independentemente do SBAS, poderiam ser instaladas estações terrestres em diversos pontos do território de interesse; os sinais coletados serviriam para a comparação com a posição conhecida dos mesmos, que são fixos, obtendo-se um fator de correção. No caso de optar-se por receptores complementares em pontos onde já se encontram infraestruturas de outras instituições envolvidas em estudos de GPS ou ionosfera, esta solução seria vantajosa, considerando ainda que coletariam apenas dados do GPS e não de outros sistemas de satélites.</p>	<p>P6</p>
<p>Trocar trilateração direta por opção mais eficaz. A integração da velocidade ao longo do tempo ou um filtro qualquer poderiam ser empregados para gerar referências, projeções e estimativas no caso de cintilação com perda total do sinal. Sistemas informatizados poderiam gerar posições de referência principalmente quando o receptor (colocado em uma aeronave ou outro veículo) estivesse parado ou em movimento uniforme. Quando da ausência do sinal GPS, a trajetória do veículo seria propagada temporariamente, suprimindo a informação de posição.</p>	<p>P7</p>

(Continua)

Tabela 5.14 – Continuação

COMENTÁRIOS	PROPO- S- TAS
<p>Havendo efeitos ionosféricos, os mesmos são uniformes em períodos curtos, o que permitiria ao sistema identificar e considerar as variações (ARAÚJO, 2005; ZANG, 2007; UGAZIO, 2013; PETOVELLO, 2015).</p>	<p>P7</p>
<p>Mudar trajeto do sinal com refletor. Um desvio poderia ser realizado, colocando um espelho de sinal, como os usados para facilitar repetidoras de micro-ondas em zonas de morros, georreferenciado e, eventualmente, inflável. Esta antena poderia ser um balão com cabos em arranjo de tetraedro e sustentação aerodinâmica suplementar, pois balões têm menos obstruções de visada que espelhos presos ao solo. Grandes antenas infláveis poderiam achar o TEC com receptores L_1 e sua capacidade de determinar a direção do sinal. Uma antena inflável interessante é um elemento que tem metalização da superfície refletora inflável apenas onde os desvios entre esta superfície e a superfície ideal são suficientemente pequenos para que seu comportamento não se deteriore. Este elemento refletor é colocado parcialmente metalizado, dentro de uma esfera transparente, com um receptor central e bateria, que faz um <i>bent pipe</i>. Limitada por baixo por dois arcos, a esfera roda pela ação de roletes e tem <i>encoders</i> (mais leve que uma grande antena). Se ela tiver um ponto de contato, coloca-se periodicamente nesta posição e recarrega-se a bateria. Seu ganho é similar a grandes antenas de dezenas de metros com a vantagem de ser leve, barata e melhor transportável. No cálculo da posição do sistema diferencial em solo deverá se considerar a antena inflável de posição fixa. (HUANG et al., 2000; HUANG, 2001)</p>	<p>P8</p>
<p>Mudar a referência de sinais dos sistemas diferenciais do solo para a atmosfera. Um dirigível estratosférico, como o repetidor de sinal de telefonia de banda C da Motorola, pode ter sua posição referenciada e comportar-se como um emissor de um satélite não visível; o detector deverá achar este sinal, selecioná-lo e tomar como dado a posição do dirigível. Por ter a informação de que é o dirigível que produz o sinal e não o satélite que está do outro lado da Terra (tabela), ele pode eliminar o sinal do satélite ruim, ou ainda usá-lo para realizar os cálculos com um dado a mais.</p>	<p>P9</p>

(Continua)

Tabela 5.14 – Conclusão

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>Deve-se levar em conta no software que o satélite perto do horizonte é menos confiável. Os balões quase estacionários do <i>Google</i>, que sobem e descem na tentativa de manter a altitude, poderiam ter sistemas inerciais e estimar sua posição. Com gravímetros (medidor da aceleração da velocidade) e sensor de estrelas, se estiverem muito altos, podem estimar a vertical local e posição das estrelas, obtendo sua posição absoluta. Comparando o GPS direto com sua posição absoluta, poderiam ser fontes de interpolação para correções de uso geral, aeronáutico e marítimo. Também podem ser utilizados VANTs que determinam sua posição e são monitorados pelo aeroporto (Veículos Aéreos Não Tripulados) que obtém sua posição verdadeira e calculam correções para a posição dos mesmos e, a partir daí, obtém dados das bolhas para transmissão às aeronaves. Esta proposta de solução apresenta vantagens com relação a estações fixas como, por exemplo, não há risco de depredação. Podem ter problemas em tempestades ou superá-los, se ficarem muito altos, acima de altitude de voo de qualquer aeronave (KAMNANI; SURATKAR, 2013; FURTADO et al., 2008)</p>	<p>P9</p>

Observação: Este princípio é muito abrangente e exige abstração, sendo que nesta análise foram listadas apenas as ideias iniciais obtidas diretamente. No desenvolvimento do método outros parâmetros e propriedades poderiam ser inseridos, considerando que o método permite a realização de tantos ciclos quanto forem necessários; porém restringiu-se o número de ciclos para a dissertação não se tornar muito extensa..

b) Como resolver o problema com uso de ação prévia (10).

Realizar uma ação de maneira prévia total ou parcialmente antes da mesma ser necessária, até mesmo alterando a forma do objeto. Arranjar os objetos previamente de forma que se possa usá-los com menor perda de tempo.

Tabela 5.15 – Princípio de ação prévia (P1/P3)

COMENTÁRIOS	PROPO- S- TAS
Este tipo de ação diz que qualquer sistema auxiliar colocado antes do evento de degradação de sinal GPS, capaz de proteger a aeronave, é uma ação prévia. Assim, nos receptores complementares como do SBAS ou estações terrestres, a ação prévia poderá ser o processamento que os mesmos necessitariam realizar para identificar e inserir correções devidas nas informações.	P2 P6
A ação prévia poderia ser também a Inserção de modelo matemático nos receptores que possa corrigir os erros automaticamente, obtidos por métodos estatísticos e baseados nos fenômenos observados.	P4
Ações prévias poderiam ser também a integração das velocidades ou o uso de um filtro para obter-se um parâmetro de referência confiável de acordo com o histórico do deslocamento da aeronave; ou mudança no trajeto do sinal com o intuito de se evitar os pontos onde os efeitos nocivos da ionosfera estivessem atuando com mais intensidade.	P7 P8

- c) Como resolver o problema com substituição de meios mecânicos (28).** Substituir sistema mecânico por outro ótico, acústico, tátil (que está sujeito ao toque) ou olfativo (que realiza distinção de odores). Utilizar campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para interagir com objeto. Mudar campos estáticos para variáveis, de não estruturados para estruturados e de fixos para móveis. Utilizar campos em conjunto com partículas ativadas por estes.

Tabela 5.16 – Princípio de substituição de meios mecânicos (P1/P3)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>No caso de sistemas críticos, como o da aviação, a aeronave (com seus sistemas mecânicos) poderia ser um fator a ser considerado para aperfeiçoar o sistema de localização. Utilizar sistema inercial (giroscópios e acelerômetros) e altímetro podem ajudar a substituir sistemas mecânicos e complementar as informações do GPS. (ZANDONÁ, 2008; SCHOENKNECHT, 2010; UNICAMP, 2015; WELLENHOF et al., 2008; ESMINGER; BOND, 2012)</p>	<p>P10</p>
<p>Estimar a velocidade da aeronave por efeito <i>Doppler</i> ou utilizá-lo na aeronave para complementar as informações de GPS. Para obter-se o efeito <i>Doppler</i> pode-se utilizar sistemas de satélites e de comunicações externos ao GPS como os satélites geostacionários, estações de radiodifusão e de celulares no solo. Havendo desvio variável no tempo, as diferenças de caminho devido à variação de frequência de um pulso emitido no instante inicial e outro após um ciclo do sinal, serão percebidas pelo receptor (efeito <i>Doppler</i>). Na prática, ocorre variação de distância entre a aeronave e satélite, mais uma variação do percurso de desvio. As alterações de percurso de desvios se traduzem em falsas variações de velocidades que vão contra a leitura de acelerômetros. No caso da frequência dupla, o próprio sistema GPS indica variações de velocidades diferentes para cada uma das bandas, independentemente dos dois sinais passarem ou não por áreas com mesmo TEC. Os erros de velocidade que são relativos a desvios de percurso terão a proporção correta com relação às frequências. Só que o sistema de dupla frequência fornece oito estimativas de variação de <i>range</i>, duas por satélite, e as efemérides e velocidade atual da aeronave permitem obter outras quatro estimativas independentes de variação de <i>range</i>, que só dependem da velocidade real da aeronave. A análise combinatória destes dados pode levar a redução de erros, que pode ser ainda mais eficaz com bons acelerômetros (WILMAN, 1965; SOUSA, 2000; SABSUD, 2008; WANG et al., 2011)</p>	<p>P11</p>

d) Como resolver o problema com uso de mudança de cor (32).

Mudar cores no objeto ou ambiente (cada cor possui uma frequência). Mudar transparência do objeto ou ambiente, usar

aditivos coloridos ou fluorescentes para facilitar a observação; usar características termo-ópticas em controle.

Tabela 5.17 – Princípio de mudança de cor (P1/P3)

COMENTÁRIOS	PROPO- TAS
<p>A proposta de auxílios à navegação inclui auxílios visuais de pista com luzes coloridas que indicam se a aeronave está pousando no ângulo correto. Esta proposta de solução pode incluir a utilização das luzes. A grande questão é se materiais fluorescentes podem aumentar a visibilidade da pista e mudar os limites de teto, garantindo maior visibilidade em condições adversas, como por exemplo se toda a pista fosse fluorescente (não só refletores). Também deve ser verificado se a diferença de luminosidade orientaria realmente o piloto e se este sistema seria caro. Alguns fatores devem ser ainda analisados como as luzes concentradas que são dispersas pela névoa de modo diferente da luz difusa, além da questão de potência total. Conforme o regulamento atual o piloto deve arremeter se não conseguir observar as indicações de pista na altura de decisão; assim, aumentar a chance do mesmo obter alguma informação visual é pertinente.</p>	<p>P5</p>

Neste ponto da TRIZ, pode-se alterná-la com a Matriz de Pugh, a fim de submeter as propostas aos mesmos critérios das soluções iniciais. Todas as propostas novas que surgiram durante esta interpretação poderiam ser submetidas à matriz de Pugh (de P6 a P11). Porém, para facilitar a visualização de dados, as propostas serão analisadas em grupos de cinco. Assim sendo, esta “rodada” de Pugh abrangerá as propostas de P6 a P10, com a P11 sendo analisada na próxima etapa.

Tabela 5.18 - Matriz de Pugh com DATUM P6

Critérios	Conceitos alternativos				
	P6 (ETER)	P7(INTVEL)	P8 (DESV)	P9 (DIRIG)	P10 (INALT)
VIABILIDADE TÉCNICA		0	0	-1	1
CUSTO ESTIMADO	D	-1	0	-1	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	A	1	0	-1	1
MANUTENÇÃO	T	1	0	-1	1
INFRAESTRUTURA	U	1	0	1	1
IMPLEMENTAÇÃO	M	1	1	-1	1
COMPLEXIDADE		-1	1	-1	1
Soma dos Positivos	0	4	2	1	7
Soma dos Negativos	0	-2	0	-6	0
TOTAL	0	2	2	-5	7

Tabela 5.19 - Matriz de Pugh com DATUM P7

Critérios	Conceitos alternativos				
	P6 (ETER)	P7(INTVEL)	P8 (DESV)	P9 (DIRIG)	P10 (INALT)
VIABILIDADE TÉCNICA	0		1	1	1
CUSTO ESTIMADO	1	D	-1	-1	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	-1	A	0	0	1
MANUTENÇÃO	-1	T	-1	-1	-1
INFRAESTRUTURA	-1	U	-1	-1	0
IMPLEMENTAÇÃO	-1	M	0	-1	1
COMPLEXIDADE	1		1	0	1
Soma dos Positivos	2	0	2	1	5
Soma dos Negativos	- 4	0	-3	- 4	- 1
TOTAL	- 2	0	-1	- 3	4

Tabela 5.20 - Matriz de Pugh com DATUM P8

Critérios	Conceitos alternativos				
	P6 (ETER)	P7(INTVEL)	P8 (DESV)	P9 (DIRIG)	P10 (INALT)
VIABILIDADE TÉCNICA	0	-1		-1	0
CUSTO ESTIMADO	0	1	D	-1	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	0	0	A	-1	1
MANUTENÇÃO	0	1	T	-1	0
INFRAESTRUTURA	0	1	U	1	1
IMPLEMENTAÇÃO	-1	0	M	-1	1
COMPLEXIDADE	-1	-1		-1	-1
Soma dos Positivos	0	3	0	1	4
Soma dos Negativos	-2	- 2	0	-6	-1
TOTAL	-2	1	0	-5	3

Tabela 5.21 - Matriz de Pugh com DATUM P9

Critérios	Conceitos alternativos				
	P6 (ETER)	P7(INTVEL)	P8 (DESV)	P9 (DIRIG)	P10 (INALT)
VIABILIDADE TÉCNICA	1	- 1	1		1
CUSTO ESTIMADO	1	1	1	D	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	1	0	1	A	1
MANUTENÇÃO	1	1	1	T	1
INFRAESTRUTURA	- 1	1	-1	U	1
IMPLEMENTAÇÃO	1	1	1	M	1
COMPLEXIDADE	1	0	1		1
Soma dos Positivos	6	4	6	0	7
Soma dos Negativos	-1	-1	-1	0	0
TOTAL	5	3	5	0	7

Tabela 5.22 - Matriz de Pugh com DATUM P10

Critérios	Conceitos alternativos				
	P6 (ETER)	P7(INTVEL)	P8 (DESV)	P9 (DIRIG)	P10 (INALT)
VIABILIDADE TÉCNICA	-1	-1	0	-1	
CUSTO ESTIMADO	-1	-1	-1	-1	D
BENEFÍCIOS FUTUROS	-1	-1	-1	-1	A
MANUTENÇÃO	-1	1	0	-1	T
INFRAESTRUTURA	-1	0	-1	-1	U
IMPLEMENTAÇÃO	-1	-1	-1	-1	M
COMPLEXIDADE	-1	-1	1	-1	
Soma dos Positivos	0	-5	1	0	0
Soma dos Negativos	-7	1	-4	-7	0
TOTAL	-7	-4	-3	-7	0

O DATUM mais equilibrado foi o da proposta de integração da velocidade (P7), com a diferença entre a soma positiva (+4) e negativa (-6), resultando uma diferença de (-2). Deste modo, pode-se constatar que as propostas de utilização de estações terrestres (P6), desvio de sinal (P8) e dirigível (P9) não foram tão bem avaliadas pelos critérios da matriz de Pugh (somente a P7/P10 foram selecionadas).

Neste ponto, pode-se prosseguir com a análise dos princípios inventivos das propostas P1/P3:

e) Como resolver o problema com segmentação ou fragmentação

(1). Dividir o objeto em partes independentes, tornando-o fácil de montar e desmontar e aumentando o grau de divisão/fragmentação. Reduzir complexidade, acelerar trocas, aumentar adaptabilidade, facilitar manutenção e reduzir efeitos negativos.

Tabela 5.23 – Princípio de segmentação ou fragmentação (P1/P3)

COMENTÁRIOS	PROPO- S-TAS
Segmentação da transmissão com o acréscimo de mais frequências.	P1
Utilização de sistema segmentado como o SBAS, em que há o acréscimo de dois subsistemas: um outro sistema de satélites (GLONASS) para complementar o GPS e as estações terrestres para complementar os receptores de solo.	P2
Segmentação do sistema por processo de reflexão do sinal (antena inflável); usar mais de uma antena e combinadores reduz a chance da componente direcional da cintilação impedir a detecção de um sinal de satélite.	P8
Segmentação do GPS em <i>pseudolites</i> . Estes realizam funções de satélites, porém são transceptores menores utilizados para criar um GPS alternativo em solo, ou seja, um sinal similar ao GPS para calcular distâncias. No sistema diferencial, os erros de <i>pseudoranges</i> , coordenadas de posição e outras informações são retransmitidas para o usuário local, dentro da mensagem do sinal GPS. O usuário recebe as informações de correções diferenciais e os sinais retransmitidos (semelhantes ao GPS) através do mesmo equipamento. Com isto, este poderá dispor de um pseudo satélite com efemérides bem conhecidas. O que se quer bloquear é o atraso de tempo do desvio do sinal, a cintilação e o multi caminho. Possivelmente, haverá a necessidade de usar canais de diferentes ganhos e sistema de chaves de desconexão de canais saturados para eliminar o <i>near far problem</i> dos <i>pseudolites</i> . Mais canais no sistema garantem que ao menos um dos canais de ganho diferente esteja operando (segmentação). Também os <i>pseudolites</i> poderão ser instalados distantes da pista, o que deverá reduzir ou eliminar o problema de <i>near far</i> . Todas estas informações referem-se ao <i>pseudolite</i> ativo, mas há a possibilidade de implantação de <i>pseudolite</i> passivo. Estes deverão se constituir de placas metálicas situadas próximas à cabeceira da pista com uma área mínima, a fim de que os sinais GPS possam refletir de modo difuso e serem aproveitados para obtenção da posição com o refletor como referência.	P12

(Continua)

Tabela 5.23 - Continuação

COMENTÁRIOS	PROPO- S- TAS
<p>Não há garantia de que todos os sinais diretos de satélites do GPS refletidos por <i>pseudolites</i> passivos sofram o mesmo erro ionosférico; o processamento dos sinais deverá detectar quais sinais estarão mais aptos a gerar dados de posição. Segmentação de <i>pseudolites</i> passivos (placas metálicas) fornecerão mais dados das reflexões obtidas. (LEMASTER, 2003; MARTIN et al., 2007)</p>	P12
<p>Segmentação dos sinais do GPS e de outros sistemas de telecomunicações. Assim como uma aeronave capta sinais de estações de radiodifusão para fornecer dados de localização (principalmente) e de distância, este e outros sistemas poderão ser utilizados para complementar os sinais GPS. O pré-requisito deve ser que os sistemas selecionados estejam presentes nas diversas regiões do Brasil, principalmente nas proximidades de aeroportos, onde as aplicações são mais críticas; dois dos sistemas que atendem ao pré-requisito citado são o de radiodifusão e de telefonia celular.</p>	P13
<p>Segmentação do sistema de satélites em mais satélites menores como os nanosatélites. Estes poderiam ser utilizados para captar sinais GPS (fato este que já ocorre na prática), enviando-os, em seguida, para receptores móveis ou estações fixas na atmosfera ou em regiões próximas ao solo. As trajetórias percorridas por estes sinais teriam grandes probabilidades de não estarem sofrendo o mesmo tipo de interferências ionosféricas, podendo ser utilizadas para complementar o sinal GPS, principalmente por oferecerem mais dados de posição, em ângulos diferentes dos satélites do GPS. Pode ocorrer neste caso também a mudança da frequência. Como o erro varia com o inverso do quadrado da frequência e quanto maior a frequência, menor o erro, os nanosatélites poderiam utilizar uma frequência maior que a do GPS. Particularmente o regulamento MOD 55.461 da ITU (<i>International Telecommunication Union</i>) disponibiliza a faixa de 7250 a 7375 MHz (<i>dowlink</i>) e 7900 a 8025 (<i>uplink</i>) para comunicações móveis via satélite de qualquer natureza.</p>	P14

(Continuação)

Tabela 5.23 - Conclusão

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>A segmentação da frequência sugere dividir esta banda em 3 faixas diferentes, com a transmissão de uma cópia do sinal L_2 em cada uma delas, o que permitiria a verificação da validade do TEC comum, gerando a diminuição do erro total e aumento da confiabilidade do processo.</p>	<p>P14</p>
<p>Segmentação da estrutura de dados e dos coletores de informação sobre a bolha ionosférica. Antena de varredura direcional eletrônica multicanal na aeronave permite obter a direção de incidência do feixe em sua superfície externa, o que fornece mais informação e pode ajudar a calcular o tamanho da bolha. Antena de varredura direcional eletrônica multicanal na estação de solo permite obter a direção de incidência do feixe na estação terrestre, o que também fornece informação que pode ajudar a calcular o tamanho da bolha ou outro dado relevante. Se toda a aeronave passar informações de sua posição com estimativa melhorada por outros meios (CNS/ATM), o número de sensores disponíveis para determinar as dimensões da bolha aumenta. Estas dimensões podem ser calculadas aplicando-se uma regressão por mínimos quadrados de um coeficiente de correção em função das coordenadas 3D de cada aeronave; apesar das posições das aeronaves serem incertas, a interpolação é segura se a base de dados for grande. Se a cintilação e frequência de cintilação de duas estações diferenciais estiverem correlacionadas, há maior chance de ambas estarem sob a mesma bolha, e de seus desvios (iguais ou diferentes) serem usados para calcular a forma da bolha, com segurança tanto maior quanto mais estações estiverem sob a mesma bolha em condições de alta correlação de sinal. Isto pode aumentar a precisão e segurança de sistemas ao coletar melhores informações sobre a bolha. (WARNANT; POTTIAX, 2000; JÚNIOR, 2002; RODRIGUES, 2003; MATSUOKA; CAMARGO, 2003, 2004; KOMJATHY; PAJARES, 2004; SKONE et al., 2005; PETRIE et al., 2011; SHANMUGAM et al., 2012; NYKIEL et al., 2014)</p>	<p>P15</p>

- f) **Como resolver o problema com cópia (26)**. Substituir objetos caros, de difícil obtenção e frágeis por itens simples e baratos que façam igual função.

Tabela 5.24 – Princípio de cópia (P1/P3)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
No caso do desvio planejado do sinal, as cópias seriam as antenas infláveis que realizam a mesma função das antenas comuns, com menor custo.	P8
Os <i>pseudolites</i> ativos podem ser considerados cópias dos sistemas de transmissão dos satélites GPS, já que produzem o mesmo tipo de sinal, com menor custo e, ainda, livres de efeitos ionosféricos.	P12
A alteração de frequência do nanossatélite em um GPS de dupla frequência conduz a uma subdivisão do <i>downlink</i> (72350 a 7375) em outras três frequências, as quais serão cópias das informações transmitidas pelas frequências do GPS.	P14

Após todas as considerações dos princípios inventivos das propostas P1/P3, pode-se alternar novamente com a matriz de Pugh, para que as cinco últimas propostas de soluções possam ser submetidas aos mesmos critérios anteriores.

Tabela 5.25 - Matriz de Pugh com DATUM P11

Critérios	Conceitos alternativos				
	P11 (DOPPLER)	P12(PSEUD)	P13 (ET RDCE)	P14 (NANOSAT)	P15 (MOD BOL)
VIABILIDADE TÉCNICA		1	0	0	-1
CUSTO ESTIMADO	D	1	1	-1	-1
BENEFÍCIOS FUTUROS	A	0	-1	1	1
MANUTENÇÃO	T	-1	-1	-1	-1
INFRAESTRUTURA	U	-1	0	-1	-1
IMPLEMENTAÇÃO	M	1	1	-1	-1
COMPLEXIDADE		0	1	-1	-1
Soma dos Positivos	0	3	3	1	1
Soma dos Negativos	0	- 2	-2	-5	-6
TOTAL	0	1	1	-4	-5

Tabela 5.26 - Matriz de Pugh com DATUM P12

Critérios	Conceitos alternativos				
	P11 (DOPPLER)	P12(PSEUD)	P13 (ET RDCE)	P14 (NANOSAT)	P15 (MOD BOL)
VIABILIDADE TÉCNICA	-1		0	1	-1
CUSTO ESTIMADO	-1	D	1	-1	0
BENEFÍCIOS FUTUROS	0	A	0	1	1
MANUTENÇÃO	1	T	-1	0	1
INFRAESTRUTURA	1	U	1	0	0
IMPLEMENTAÇÃO	-1	M	-1	-1	1
COMPLEXIDADE	0		1	0	-1
Soma dos Positivos	-3	0	3	2	3
Soma dos Negativos	2	0	-2	-2	-2
TOTAL	-1	0	1	0	1

Tabela 5.27 - Matriz de Pugh com DATUM P13

Critérios	Conceitos alternativos				
	P11 (DOPPLER)	P12(PSEUD)	P13 (ET RDCE)	P14 (NANOSAT)	P15 (MOD BOL)
VIABILIDADE TÉCNICA	0	0		1	-1
CUSTO ESTIMADO	-1	-1	D	-1	-1
BENEFÍCIOS FUTUROS	1	0	A	1	1
MANUTENÇÃO	1	1	T	1	1
INFRAESTRUTURA	0	-1	U	-1	-1
IMPLEMENTAÇÃO	-1	1	M	-1	-1
COMPLEXIDADE	-1	-1		-1	-1
Soma dos Positivos	2	2	0	3	2
Soma dos Negativos	-3	-3	0	-4	-5
TOTAL	-1	-1	0	-1	-3

Tabela 5.28 - Matriz de Pugh com DATUM P14

Critérios	Conceitos alternativos				
	P11 (DOPPLER)	P12(PSEUD)	P13 (ET RDCE)	P14 (NANOSAT)	P15 (MOD BOL)
VIABILIDADE TÉCNICA	0	-1	-1		-1
CUSTO ESTIMADO	1	1	1	D	1
BENEFÍCIOS FUTUROS	-1	-1	-1	A	-1
MANUTENÇÃO	1	0	-1	T	1
INFRAESTRUTURA	1	0	1	U	0
IMPLEMENTAÇÃO	1	1	1	M	1
COMPLEXIDADE	1	0	1		1
Soma dos Positivos	5	2	4	0	4
Soma dos Negativos	-1	-2	-3	0	-2
TOTAL	4	0	1	0	2

Tabela 5.29 - Matriz de Pugh com DATUM P15

Critérios	P11 (DOPPLER)	P12(PSEUD)	P13 (ET RDCE)	P14 (NANOSAT)	P15 (MOD BOL)
VIABILIDADE TÉCNICA	1	1	1	1	
CUSTO ESTIMADO	1	0	1	-1	D
BENEFÍCIOS FUTUROS	-1	-1	-1	1	A
MANUTENÇÃO	1	-1	-1	-1	T
INFRAESTRUTURA	1	0	1	0	U
IMPLEMENTAÇÃO	1	-1	1	-1	M
COMPLEXIDADE	1	1	1	-1	
Soma dos Positivos	6	2	5	2	0
Soma dos Negativos	-1	-3	-2	-4	0
TOTAL	5	-1	3	-2	0

Esta última consideração da matriz de Pugh demonstra que o DATUM equilibra-se na solução do *pseudolite* (P12), onde a diferença entre a soma de todos os pontos positivos (+2) e negativos (-1) é de (1). Nesta matriz, apenas uma proposta ficou com conceito negativo, sendo a da utilização do efeito *Doppler* (P11); P12 a P15 foram selecionadas.

Após serem analisados todos os princípios inventivos relativos a P1 e P3, pode-se prosseguir com o método, considerando a TRIZ para **P1 e P5**.

PASSO E2 – Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou eliminar (resultado indesejado) [B].

Parâmetros da engenharia que podem estar envolvidos:

9 - Velocidade – propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P1/P5).

22 – Perda de energia – propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P1/P5).

24- Perda de informação – propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P1/P5).

25- Perda de tempo - propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P1/P5).

27 – Confiabilidade – dos satélites/antenas/receptores (P1/P5).

28 – Precisão de medição – dos receptores de satélites e dos auxílios à navegação (P1/P5).

30 – Fatores prejudiciais atuando no objeto – TEC, bolhas ionosféricas e cintilações atuando nos receptores de sinais de satélites (P1).

33 – Conveniência de uso – auxílios à navegação (P5)

34 – Manutenibilidade - dos transmissores e receptores com mais de uma frequência e dos equipamentos de auxílios à navegação (P1/P5).

35 – Adaptabilidade – inclusão de novas frequências e dos auxílios à navegação (P1/5).

- a) O que se quer eliminar: 22, 24, 25, 30
- b) O que se quer melhorar 9, 27, 28, 33, 34, 35.
- c) Casos de teste: 22x9, 22x27, 22x28, 22x33, 22x34, 22x35, 24x9, 24x27, 24x28, 24x33, 24x34, 24x35, 25x9, 25x27, 25x28, 25x33, 25x34, 25x35. 30x9, 30x27, 30x28, 30x33, 30x34, 30x35.

PASSO F2 - Aplicação da TRIZ: Ir até a linha da matriz de título [A], e buscar a coluna de título [B], usando os princípios inventivos listados na célula M[A],[B] – Figura 2.5.

Tabela 5.30 – Utilização da tabela de princípios inventivos (P1/P5)

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS	
22 x 9 = 14, 19, 20, 35	24 x 9 = 13, 26
22 x 27 = 10, 11, 35	24 x 27 = 10, 28
22 x 28 = 26, 27, 32	24 x 28 = xxx
22 x 33 = 2, 13, 19	24 x 33 = 4, 10, 22, 27
22 x 34 = 1, 15, 19, 32	24 x 34 = xxx
22 x 35 = 1, 15, 18	24 x 35 = xxx
25 x 9 = xxx	30 x 9 = 1, 23, 28, 35
25 x 27 = 4, 10, 30	30 x 27 = 2, 27, 35, 40
25 x 28 = 24, 28, 32, 34	30 x 28 = 22, 24, 26, 28
25 x 33 = 4, 10, 28, 34	30 x 33 = 2, 25, 28, 39
25 x 34 = 1, 10, 25, 32	30 x 34 = 2, 10, 16, 35
25 x 35 = 28, 35	30 x 35 = 11, 31, 32, 35

Tabela 5.31 – Histograma de princípios inventivos (P1/P5)

SEQ- SEQUÊNCIA DOS PRINCÍPIOS / ENG- N° DO PRINCÍPIO/ REF- N° DE REFERÊNCIAS AO PRINCÍPIO													
SEQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ENG	10	28	35	32	1	2	4	19	26	27	11	13	15
REF	7	7	7	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2
SEQ	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
ENG	22	24	25	34	14	16	18	20	23	30	31	39	40
REF	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

PASSO G2 - Aplicar a lista de princípios inventivos. Como no caso anterior, estabelecendo-se como ponto de corte o número mínimo de três referências, obtém-se os seguintes princípios inventivos, na ordem:

Tabela 5.32 – Aplicação dos princípios inventivos (P1/P5)

SEQ.	N° DO PRINCÍPIO INVENTIVO	N° REFERÊNCIAS DE	DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO INVENTIVO
1	10	7	Ação prévia
2	28	7	Substituição de meios mecânicos
3	35	7	Mudança de parâmetros e propriedades
4	32	5	Mudança de cor
5	1	4	Segmentação ou fragmentação
6	2	4	Remoção ou extração
7	4	3	Mudança de simetria
8	19	3	Ação periódica
9	26	3	Cópia
10	27	3	Uso e descarte

Verifica-se por mais esta aplicação da TRIZ que seis dos princípios inventivos foram obtidos no caso anterior. Assim, a análise a seguir será realizada para os parâmetros de remoção ou extração, mudança de simetria, ação periódica e uso e descarte.

PASSO H2 – Interpretar as recomendações de uso de princípios inventivos/ações e lista de conceitos de funcionamento de soluções sem detalhes.

a) Como resolver o problema com remoção ou extração (2).

Tentar fazer um novo sistema onde esteja presente apenas a função desejada; onde a propriedade que causa transtorno esteja bloqueada, não possuir utilidade ou estiver ausente, ou o mais longe o possível do item que sente o problema (bloquear a ação).

Tabela 5.33 – Princípio de remoção ou extração (P1/P5)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
Remoção dos efeitos nocivos pela diversidade de frequências. Os efeitos nocivos atuam diferentemente em cada frequência, podendo ser mínimo em uma delas. As perdas de multi caminho diminuem porque há diversidade de fontes e a probabilidade de multi caminho simultâneo é baixa.	P1
Remoção das interferências com envio ou coleta do sinal por mais satélites. Apesar de serem necessários quatro satélites (no mínimo) para o dado de posição do GPS, com mais satélites a solução melhora (minimização de erros). Permite coletar informações somente com satélites que apresentem baixo risco em elevação (o sinal ruim, que não for útil, fica ausente). Também aumenta a chance de que o feixe a ser utilizado seja menos afetado por bolhas ionosféricas, por vir de outro satélite.	P3
Remoção dos efeitos nocivos da ionosfera pela inclusão de mais informações de posição provenientes de auxílios à navegação aérea, cujos princípios poderão ser empregados para complementar o GPS, principalmente os do DME.	P5

(Continua)

Tabela 5.33 – Continuação

COMENTÁRIOS	PROPO- S- TAS
Remoção dos efeitos nocivos da ionosfera, com a transferência da referência de posição do satélite para um refletor de posição conhecida (ex.: um refletor difuso inflável), tanto com reflexão direta de sinais do GPS como reflexão de sinal similar emitido pela aeronave.	P8 P12

b) Como resolver o problema com mudança de simetria (4).

Tornar um objeto simétrico em assimétrico; se já for assimétrico, fazê-lo ainda mais assimétrico; ajustar assimetrias.

Tabela 5.34 – Princípio de mudança de simetria (P1/P5)

COMENTÁRIOS	PROPO- S- TAS
Este princípio melhora várias soluções, pois a falta de simetria ajuda a identificar itens que não transmitem identificação única, como refletores passivos e antenas de rádio base, que reusam periodicamente identificadores. Os equipamentos de auxílios à navegação aérea têm, em geral, arranjo simétrico. A colocação de equipamentos em locais estratégicos (sistemas diferenciais), considerando-se principalmente o relevo (em geral, priorizando locais altos) exige quebra de simetria. Os padrões de simetria atuais, também não permitem refinamento da grade de interpolação nas proximidades do aeroporto.	P2 P6 P8 P12 P13

c) Como resolver o problema com ação periódica (19). Substituir ações contínuas por periódicas, mudar frequência/período de ações periódicas; utilizar as pausas para efetuar ações similares / diferentes/complementares.

Tabela 5.35 – Princípio de ação periódica (P1/P5)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>Pode-se periodicamente comparar posições GPS calculadas pela aeronave e posições de efeito <i>Doppler</i> ou outros subsistemas internos da aeronave, incluindo nanossatélites e modelo da bolha, para fornecer dados complementares, já que há a probabilidade da bolha alterar suas características no tempo. Esta calibração nas aeronaves poderia ser realizada próxima dos grandes aeroportos, aproveitando-se de seus efeitos benéficos (precisão) para os aeroportos menores, nas proximidades. O erro seria bem menor no momento da operação real, pois os efeitos ionosféricos nos dois locais seriam bem semelhantes.</p>	<p>P5/P7 P10/P11 P12/P13 P14/P15</p>

d) Como resolver o problema com uso e descarte (27). Substituir um objeto caro por vários objetos baratos.

Tabela 5.36 – Princípio de uso e descarte (P1/P5)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>Os descartáveis resultam em usar dados que ainda não são usados. Os sistemas próprios complementares ao GPS (auxílios à navegação, integração da velocidade, balões/VANT, inercial/altímetro, efeito <i>Doppler</i>, <i>pseudolites</i>, radiodifusão/celular, nanossatélites e modelo da bolha) poderiam gerar dados independentemente dos sistemas de satélite, os quais poderão ser utilizados de diferentes modos em função do comportamento da ionosfera.</p>	<p>P5/P7 P9/P10 P11/P12 P13/P14 P15</p>

Finalmente, será considerada a TRIZ para as soluções **P3 e P5**.

PASSO E3 – Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou eliminar (resultado indesejado) [B].

Parâmetros da engenharia que podem estar envolvidos:

9 - Velocidade – propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P3/P5).

22 – Perda de energia – propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P3/P5).

24- Perda de informação – propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P3/P5).

25- Perda de tempo - propagação dos sinais do satélite e dos auxílios à navegação (P3/P5).

27 – Confiabilidade – dos satélites/antenas/receptores (P3/P5).

28 – Precisão de medição – dos satélites/receptores (P3/P5).

29 – Precisão de fabricação – dos novos satélites do sistema (P3).

30 – Fatores prejudiciais atuando no objeto – TEC, bolhas ionosféricas e cintilações atuando nos receptores de sinais de satélites (P3).

33 – Conveniência de uso – dos novos satélites e dos auxílios à navegação (P3/P5)

34 – Manutenibilidade - dos equipamentos dos auxílios à navegação (P5).

35 – Adaptabilidade – inclusão de novos satélites e auxílios à navegação (P3/P5).

a) O que se quer eliminar: 22, 24, 25, 30

b) O que se quer melhorar 9, 27, 28, 29, 33, 34, 35

c) Casos de teste: 22x9, 22x27, 22x28, 22x29, 22x33, 22x34, 22x35, 24x9, 24x27, 24x28, 24x29, 24x33, 24x34, 24x35, 25x9, 25x27, 25x28, 25x29, 25x33, 25x34, 25x35, 30x9, 30x27, 30x28, 30x29, 30x33, 30x34, 30x35

PASSO F3 - Aplicação da TRIZ: Ir até a linha da matriz com o título [A], e buscar a coluna de título [B], usando os princípios inventivos listados na célula M[A],[B] – Figura 2.5.

Tabela 5.37 – Utilização da tabela de princípios inventivos (P3/P5)

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS	
22 x 9 = 14, 19, 20, 35	24 x 9 = 13, 26
22 x 27 = 10, 11, 35	24 x 27 = 10, 28
22 x 28 = 26, 27, 32	24 x 28 = xxx
22 x 29 = 2, 13, 32	24 x 29 = xxx
22 x 33 = 2, 13, 19	24 x 33 = 4, 10, 22, 27
22 x 34 = 1, 15, 19, 32	24 x 34 = xxx
22 x 35 = 1, 15, 18	24 x 35 = xxx
25 x 9 = xxx	30 x 9 = 1, 23, 28, 35
25 x 27 = 4, 10, 30	30 x 27 = 2, 27, 35, 40
25 x 28 = 24, 28, 32, 34	30 x 28 = 22, 24, 26, 28
25 x 29 = 18, 26, 28, 32	30 x 29 = 10, 26, 28, 36
25 x 33 = 4, 10, 28, 34	30 x 33 = 2, 25, 28, 39
25 x 34 = 1, 10, 25, 32	30 x 34 = 2, 10, 16, 35
25 x 35 = 28, 35	30 x 35 = 11, 31, 32, 35

Tabela 5.38 – Histograma de princípios de engenharia (P3/P5)

SEQ- SEQUÊNCIA DOS PRINCÍPIOS / ENG- N° DO PRINCÍPIO/ REF- N° DE REFERÊNCIAS AO PRINCÍPIO														
SEQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ENG	28	10	32	35	2	26	1	4	13	19	27	11	15	18
REF	9	8	7	7	5	5	4	3	3	3	3	2	2	2
SEQ	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
ENG	22	24	25	34	14	16	20	23	30	30	31	36	39	40
REF	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

PASSO G3 - Aplicar a lista de princípios inventivos. Adotando-se o mesmo ponto de corte (três referências) como nos dois casos anteriores, obtém-se os seguintes princípios inventivos, na ordem :

Tabela 5.39 - Aplicação dos princípios inventivos (P3/P5)

SEQ	N° DO PRINCÍPIO INVENTIVO	N° DE REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO INVENTIVO
1	28	9	Substituição de meios mecânicos
2	10	8	Ação prévia
3	32	7	Mudança de cor
4	35	7	Mudança de parâmetros e propriedades
5	2	5	Remoção ou extração
6	26	5	Cópia
7	1	4	Segmentação ou fragmentação
8	4	3	Mudança de simetria
9	13	3	Inversão
10	19	3	Ação periódica
11	27	3	Uso e descarte

PASSO H3 – Interpretar as recomendações de uso de princípios inventivos/ações e lista de conceitos de funcionamento de soluções sem detalhes.

Verifica-se que houve apenas o acréscimo do princípio de inversão em relação aos anteriores, podendo-se realizar a sua interpretação a seguir.

- a) Como resolver o problema com inversão (13).** Fazer a ação inversa à especificada normalmente, inverter posições de objetos, inverter as partes que são móveis e estacionárias, direções ortogonais com alternadas.

Tabela 5.40 – Princípio de inversão (P3/P5)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
O princípio da inversão sugere mover a fonte do sinal GPS do satélite para o aeroporto ou avião, eliminando o erro ionosférico com uma nova referência; assim os sinais podem ser refletidos no solo pelo aeroporto (<i>pseudolites</i> passivos) ou ter início no mesmo (<i>pseudolites</i> ativos). Colocar a fonte no avião pode ser melhor: o trajeto do sinal (ida e volta) reduz pela metade a dispersão de posição relativa e seu erro, restando a questão de se identificar o refletor, para se saber sua posição exata; além disto a aeronave controla o nível ideal do sinal transmitido.	P12

Observação: A última aplicação da TRIZ demonstrou uma tendência de continuar repetindo os mesmos resultados com a análise par a par. Para certificar-se de que se aplicou ao caso a grande maioria dos princípios inventivos, pode-se realizar uma análise final mais abrangente, considerando somente os parâmetros principais: os sinais do GPS, aeronave e ação da ionosfera (TEC, bolhas ionosféricas e cintilações).

PASSO E4 – Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou eliminar (resultado indesejado) [B].

Parâmetros da engenharia que podem estar envolvidos:

3 – Comprimento do objeto móvel – comprimento das antenas e distâncias entre as mesmas, comprimento, largura e altura da bolha.

5 - Área do objeto móvel – área da antena do receptor, área da bolha.

7 – Volume do objeto móvel - volume da bolha.

9- Velocidade - da bolha ou da aeronave.

12 – Forma - da bolha, da antena ou do receptor.

13 – Estabilidade da composição do objeto - da bolha

15 – Duração da ação do objeto móvel- da bolha

17 – Temperatura – do local da bolha ou do trajeto do sinal na ionosfera.

19- Energia gasta pelo objeto móvel – transmissor, receptor ou aeronave.

21- Potência - do transmissor ou aeronave.

22 – Perda de energia – da bolha, do transmissor ou receptor.

24- Perda de informação – entre os satélites e o receptor/aeronave.

25- Perda de tempo - entre os satélites e o receptor/aeronave.

27 – Confiabilidade – do receptor.

28 – Precisão de medição – do receptor

30 – Fatores prejudiciais atuando no objeto – TEC, bolhas ionosféricas e cintilações.

31 – Fatores prejudiciais causados pelo objeto – distorções e perdas do sinal causadas pelas bolhas ionosféricas.

35 – Adaptabilidade – do receptor ou da aeronave.

37 – Complexidade de controle – equipamentos de compensação ou modelos.

- a) O que se quer eliminar: 22, 24, 25, 30,31, 37
- b) O que se quer melhorar: 3, 5, 7, 9, 12, 13, 15, 17, 19, 21, 27, 28, 35
- c) Casos de teste: 22x3, 22x5, 22x7, 22x9, 22x12, 22x13, 22x15, 22x17, 22x19, 22x21, 22x27, 22x28, 22x35, 24x3, 24x5, 24x7, 24x9, 24x12, 24x13, 24x15, 24x17, 24x19, 24x21, 24x27, 24x28, 24x35, 25x3, 25x5, 25x7, 25x9, 25x12, 25x13, 25x15, 25x17, 25x19, 25x21, 25x27, 25x28, 25x35, 30x3, 30x5, 30x7, 30x9, 30x12, 30x13, 30x15, 30x17, 30x19, 30x21, 30x27, 30x28, 30x35, 31x3, 31x5, 31x7, 31x9, 31x12, 31x13, 31x15, 31x17, 31x19, 31x21, 31x27, 31x28, 31x35, 37x3, 37x5, 37x7, 37x9, 37x12, 37x13, 37x15, 37x17, 37x19, 37x21, 37x27, 37x28, 37x35.

PASSO F4 - Aplicação da TRIZ: Ir até a linha da matriz com o título [A], e buscar a coluna de título [B], usando os princípios inventivos listados na célula M[A],[B] - Figura 2.5.

Tabela 5.41 – Utilização da tabela de princípios inventivos (GERAL)

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS		
22 x 3 = 2, 7, 35, 39	24 x 3 = 1, 24	25 x 3 = 2, 15, 29
22 x 5 = 15, 17, 26, 30	24 x 5 = 26, 30	25 x 5 = 4, 26
22 x 7 = 7, 13, 15, 16	24 x 7 = 2, 22	25 x 7 = 2, 6,10, 34
22 x 9 = 14, 19, 20, 35	24 x 9 = 13, 26	25 x 9 = xxx
22 x 12 = 14	24 x 12 = xxx	25 x 12 = 10, 14, 17, 34
22 X13 = 2, 6, 14, 39	24 X 13 = xxx	25 x 13 = 27, 35
22 x 15 = xxx	24 x 15 = 10	25 x 15 = 10, 18, 20, 28

(Continua)

Tabela 5.41 – Continuação

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS		
22 x 17 = 17, 21, 35, 38	24 x 17 = xxx	25 x 17 = 18, 21, 28, 35
22 x 19 = 12, 15, 22, 24	24 x 19 = xxx	25 x 19 = 18, 19, 35, 38
22 x 21 = 10, 35, 38	24 x 21 = 10, 19	25 x 21 = 6, 10, 20, 35
22 x 27 = 10, 11, 35	24 x 27 = 10, 28	25 x 27 = 4, 10, 30
22 x 28 = 26, 27, 32	24 x 28 = xxx	25 x 28 = 24, 28, 32, 34
22 x 35 = 1, 15, 18	24 x 35 = xxx	25 x 35 = 28, 35
30 x 3 = 1, 15, 17, 24	31 x 3 = 15, 17	37 x 3 = 1, 24, 26, 35
30 x 5 = 1, 22, 28, 33	31 x 5 = 2, 17, 18, 39	37 x 5 = 2, 18, 26, 36
30 x 7 = 21, 22, 27, 35	31 x 7 = 1, 2, 17, 40	37 x 7 = 4, 26, 29
30 x 9 = 1, 23, 28, 35	31 x 9 = 2, 21, 24, 35	37 x 9 = 3, 16, 27, 34
30 x 12 = 1, 2, 22, 35	31 x 12 = 1, 35	37 x 12 = 13, 15, 39
30 x 13 = 18, 24, 30, 35	31 x 13 = 27, 35, 39, 40	37 x 13 = 22, 23, 35, 39
30 x 15 = 15, 22, 28, 33	31 x 15 = 16, 21, 22, 39	37 x 15 = 19, 29, 35, 39
30 x 17 = 2, 22, 33, 35	31 x 17 = 2, 22, 24, 35	37 x 17 = 3, 27, 31, 35
30 x 19 = 1, 6, 27, 35	31 x 19 = 2, 6, 35	37 x 19 = 35, 38
30 x 21 = 2, 19, 22, 31	31 x 21 = 2, 18, 35	37 x 21 = 16, 19, 35
30 x 27 = 2, 27, 35, 40	31 x 27 = 2, 26, 35, 40	37 x 27 = 27, 28, 40
30 x 28 = 22, 24, 26, 28	31 x 28 = 3, 10, 33, 39	37 x 28 = 24, 26, 28, 32
30 x 35 = 11, 31, 32, 35	31 x 35 = xxx	37 x 35 = 1

Tabela 5.42 – Histograma de princípios de engenharia (GERAL)

SEQ- SEQUÊNCIA DOS PRINCÍPIOS / ENG- N° DO PRINCÍPIO/ REF- N° DE REFERÊNCIAS AO PRINCÍPIO																		
SEQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ENG	35	2	22	1	10	26	28	24	15	27	39	18	17	19	6	21	40	14
REF	31	17	12	11	11	11	11	10	9	9	9	8	7	6	5	5	5	4
SEQ	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ENG	16	30	32	33	34	38	3	4	13	20	29	31	7	11	23	12	36	
REF	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	

PASSO G4 - Aplicar a lista de princípios inventivos.

Como a análise por TRIZ foi muito mais abrangente, nota-se que o número de referências foi muito mais alto, podendo-se considerar o ponto de corte em dez.

Tabela 5.43 - Aplicação dos princípios inventivos (GERAL)

SEQ	N° DO PRINCÍPIO INVENTIVO	N° DE REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO INVENTIVO
1	35	31	Mudar de parâmetros e propriedades
2	2	17	Remoção ou extração
3	22	12	Transformação de prejuízo em lucro
4	1	11	Segmentação ou fragmentação
5	10	11	Ação prévia
6	26	11	Cópia
7	28	11	Substituição de meios mecânicos
8	24	10	Mediação

Verifica-se por esta última análise geral da TRIZ para o caso que somente dois princípios inventivos (transformação de prejuízo em lucro e mediação) ainda não apareceram nas análises anteriores.

PASSO H4 – Interpretar as recomendações de uso de princípios inventivos/ações e lista de conceitos de funcionamento de soluções sem detalhes.

a) Como resolver o problema com transformação de prejuízo em lucro (22). Usar fatores nocivos para conseguir efeitos úteis. Eliminar a ação nociva primária por combinação com outros fatores nocivos para resolver o problema. Amplificar o fator nocivo tanto que ele deixe de ser nocivo.

Tabela 5.44 – Princípio de transformação de prejuízo em lucro (GERAL)

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
<p>Pode-se também tornar uma variação de caminho (que é o que a bolha causa) em algo útil: via repetidor ou refletor (eventualmente inflável e difuso) que aumentam o caminho e podem transferir a referência de posição do espaço para o solo, se a fonte de sinal puder ser claramente identificada, o que é certamente o caso de vários refletores com posição relativa bem específica. A ideia do espelho passivo pode ser feita para o sinal do satélite, se houverem <i>Rakes</i> como o do CDMA no <i>Tau Ditter</i>. O receptor é capaz de distinguir cada sinal direto e cada sinal refletido, com base em fases e dados de posição de refletores, que assim tornam-se referência de posição. Os sinais refletidos podem ter uma assinatura dada pela posição relativa entre os refletores. Poderão usar receptores normais, com comunicação que impeça todos de travarem no mesmo sinal (ordenação e cálculo no computador de bordo). O cuidado que se deve tomar relaciona-se com os ecos de solo.</p>	<p>P8 P12</p>

(Continua)

Tabela 5.44 – Continuação

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
<p>Deve-se garantir que os mesmos não atrapalhem e já tenham sistemas de controle de coordenação de sincronização, do <i>Tau-Ditter</i> ou equivalente, com os vários sinais para analisar qual sinal (direto ou indireto) está sendo considerado e evitar cálculos errados. Se estas ações forem consideradas, o eco (em geral prejudicial), pode virar lucro: basta mapear as fontes de eco e informar ao computador de bordo dados sobre elas, para fazer externamente ao receptor os cálculos que corrijam o problema do TEC. Em especial, se a aeronave for a fonte de sinal, pode haver controle de nível e ainda se reduz à metade os erros nos valores de distância.</p>	<p>P8 P12</p>
<p>O que pode ser um prejuízo para o sinal poderá ser convertido em uma informação importante. A posição dada pela integração da velocidade obtida pelo <i>Doppler</i> ou derivadas de deslocamentos de GPS, gera uma posição diferente daquela obtida diretamente por trilateração 3D direta. Esta diferença pode ser usada para obter o TEC e fazer modelos de bolha para suporte a aeronaves menos aparelhadas nos aeroportos. A verificação da direção de máxima intensidade do sinal pode ajudar a achar desvios direcionais e, a partir deste fato, estimar informações sobre a bolha. Se a bolha é pequena, a variação é mais rápida em termos de atraso do que se a bolha for grande, já que o tempo de trânsito entre a borda da bolha e seu centro é menor, a menos que ela seja um cilindro e o movimento do satélite e avião estejam no eixo do cilindro. Esta informação pode complementar os modelos de interpolação, já que se sabe algo sobre a direção do eixo da bolha (as cilíndricas são bastante comuns). As diferenças de várias aeronaves podem ser transmitidas às estações em solo para melhorar o sistema de informações destas últimas. Em princípio, como há correntes e campos magnéticos da Terra, bolhas menores têm mudança de forma mais rápida que as grandes. Os padrões de cintilação diferentes em frequência e níveis de desvios podem ser correlacionados ao tamanho de bolha. Tais dados podem permitir avaliação de alguma dimensão crítica da bolha.</p>	<p>P7 P11 P15</p>

(Continua)

Tabela 5.44 – Conclusão

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
<p>Quando a aeronave não está sob bolha alguma o percurso é mínimo e, à medida que o sinal começa a passar pela bolha (devido ao seu movimento ou movimento da bolha) há variação de <i>Doppler</i> por mudança de percurso, em que o atraso inicialmente cresce e depois diminui. Esta variação de <i>Doppler</i> fornece dados do tamanho da bolha e sua velocidade, conhecidas as velocidades da aeronave e satélite, se a taxa de aquisição de dados for adequada. Confrontando posição integrada e direta, provavelmente haja a possibilidade até de se modelar a bolha, tanto na aeronave como no solo.</p>	<p>P7 P11 P15</p>

- b) Como resolver o problema com uso de mediação (24).** Usar objeto ou processo intermediário para melhorar o sistema; misturar um material que possa ser facilmente removível com outro.

Tabela 5.45 – Princípio de mediação (GERAL)

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
<p>No caso de uso de receptores complementares dos sistemas diferenciais (SBAS e estações terrestres), estes serão os próprios mediadores, considerando que serão os responsáveis em transmitir sinais até os receptores principais. Refletores serão os mediadores utilizados para o caso do desvio do sinal.</p>	<p>P2 P6 P8</p>
<p>O mediador também poderia ser o modelo ionosférico, já que este pode ser caracterizado como um sistema intermediário (informatizado) que melhora o sistema principal.</p>	<p>P4</p>
<p>Os seguintes sistemas também poderiam ser mediadores, considerando que misturam outros sistemas ao principal, como intuito de melhorá-lo: auxílios à navegação, balões/VANT, inercial/altímetro, efeito <i>Doppler</i>, <i>pseudolites</i>, estações de radiodifusão/celular, nanossatélites e modelo da bolha.</p>	<p>P5/P9 P10/P11 P12/P13 P14/P15</p>

Pode-se verificar o resultado das quatro análises da TRIZ (três delas realizadas par a par) e uma mais abrangente (geral), na tabela a seguir.

Tabela 5.46 – Resultado completo dos princípios de engenharia

Nº PRINCÍPIO INVENTIVO	DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO INVENTIVO	PRIORIDADE PROPOSTAS P1/P3	PRIORIDADE PROPOSTAS P1/P5	PRIORIDADE PROPOSTAS P3/P5	PRIORIDADE ANÁLISE GERAL
35	Mudar de parâmetros e propriedades	1	3	4	1
10	Ação prévia	2	1	2	5
28	Substituição de meios mecânicos	3	2	1	7
32	Mudança de cor	4	4	3	
1	Segmentação ou fragmentação	5	5	7	4
26	Cópia	6	9	6	6
2	Remoção/ extração/separação		6	5	2
4	Mudança de simetria		7	8	
19	Ação periódica		8	10	
27	Uso e descarte		10	11	
13	Inversão			9	
22	Transformação de prejuízo em lucro				3
24	Mediação				8

Comparando-se a aplicação do primeiro método (TRIZ do par de propostas) com o segundo (TRIZ mais abrangente) foram obtidas as seguintes informações:

- a) As duas abordagens geraram vários princípios inventivos comuns considerando que as propostas de solução mais relevantes apresentam características técnicas bem próximas, com algumas exceções.
- b) As alterações foram obtidas com relação ao número de princípios e às prioridades dos mesmos, fato este que também não possui influência sobre a solução.

5.1.2 TRIZ (método de campo e substância) e AHP no GPS

Método da iteração campo substância dentro do ARIZ (Algoritmo de Solução inventiva de Problemas).

PASSO 1.1 – Formular o problema.

Este passo já foi descrito no item 5.1.1.1. Quer se melhorar a precisão e confiabilidade da determinação de posição via GPS sem aumento de custo relevante, advindos de aumento de infraestrutura na aeronave, aeroportos e sistemas de satélite, referentes a uso de: mais frequências, mais satélites, modelos ionosféricos e de bolhas, de instrumentos de aeronaves e princípios de navegação aérea, referências no solo e no ar, métodos físicos de determinação de deslocamentos, integração de velocidade, desvio de sinal ou *pseudolites*, que podem e tendem a melhorar a precisão mas sacrificam a confiabilidade do resultado e custo do sistema.

PASSO 1.2 – Definir os elementos em conflito e recursos.

Levantar todos os itens que aparecem no sistema e sistema mais geral. Achar a ferramenta e produto em conflito. Verificar se o sistema obedece às leis de sistema de completividade e condução de energia.

TC1 - Se não se usar nenhum equipamento extra na aeronave, aeroporto ou outro local, ou método de compensação da interferência da ionosfera sobre o sinal GPS na zona equatorial, equipamentos mais complexos ou aumento da base de informação, o sistema não será nem mais caro nem mais complexo (P1+), mas terá erros de informação sérios em algum período de tempo (P1-).

TC2 – Usando-se equipamentos extras ou na aeronave, aeroporto, ou outro local, ou método de compensação da interferência da ionosfera sobre o sinal GPS na zona equatorial, equipamentos mais complexos ou aumento da base de informação, o sistema não terá erros de informação sérios em nenhum período de tempo (P2+), mas será mais caro e mais complexo e sobretudo os custos de desenvolvimento de modelos serão muito altos assim como se precisará de muito tempo para que o sistema fique disponível (P2-).

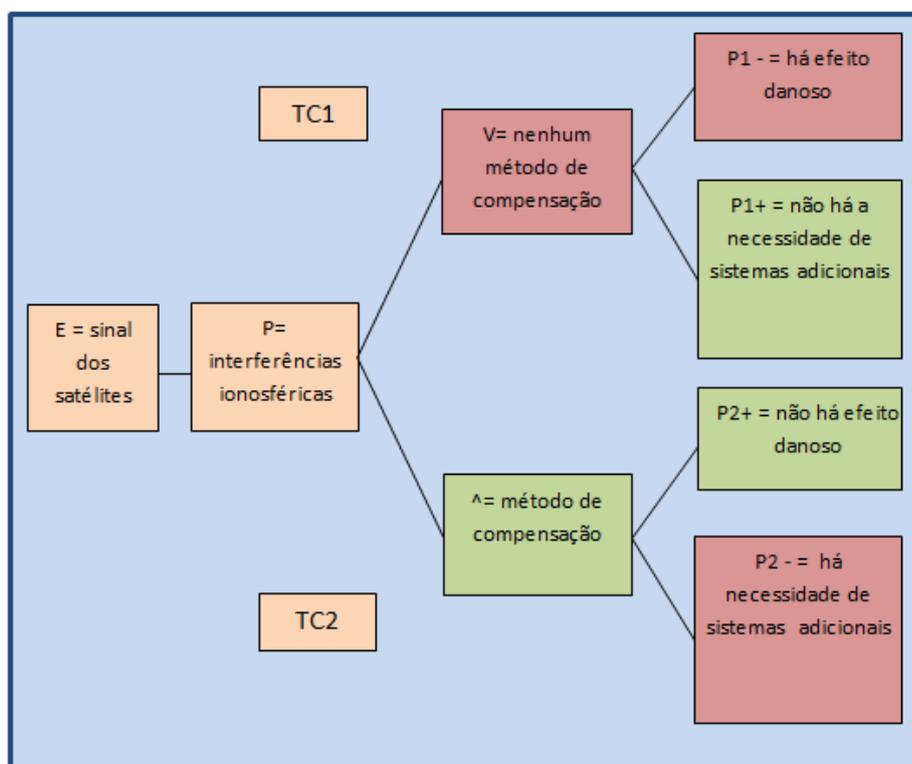


Figura 5.1 – Identificação do par conflitante (*SuField* GPS)

- a) **Resultado desejado:** Sem perder as informações do GPS, prover elemento-chave que compense os erros na região equatorial, mesmo com as interferências da ionosfera no sinal com o mínimo de alterações nos sistemas de aeroportos, de bordo ou de satélites do GNSS.
- b) **Resultado ideal desejado:** Sem nada a mais que o GPS, compensar os erros ionosféricos independentemente do TEC, do tamanho das bolhas e seus efeitos de cintilação.
- c) **Par em conflito:** informações do GPS e interferências da ionosfera.
- d) **Fonte de energia:** sol
- e) **Motor:** satélites
- f) **Transmissão:** vácuo, atmosfera e ionosfera
- g) **Ferramentas:** receptores e sistema de processamento
- h) **Produto:** dado de posição.
- i) **Controle:** satélite, recepção e processamento

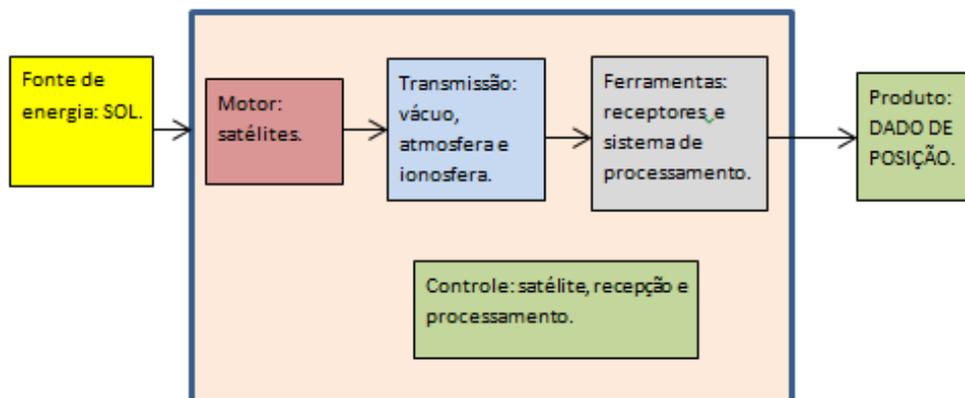


Figura 5.2 - Condução de energia (sistemas de satélites/*SuField* GPS)

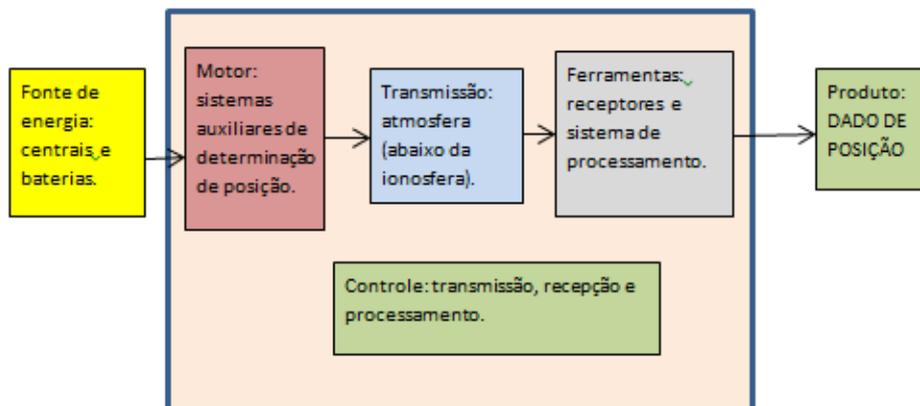


Figura 5.3 - Condução de energia de sistemas (auxiliares)/(SuField GPS)

PASSO 1.3 - Descrever a contradição técnica com modelos gráficos.

Os sistemas mais críticos com relação à transmissão de sinais de satélites podem ser considerados os de aviação, principalmente nos pousos e decolagens. A Figura 5.4 representa os principais subsistemas envolvidos que são os satélites, aeroporto e aeronaves. Quando a aeronave está próxima do pouso receberá sinais do GPS, assim como apoio da infraestrutura do aeroporto. Os sinais dos satélites passarão pela ionosfera e poderão sofrer seus efeitos, gerando erros e perdas repentinas do sinal. Assim, a operação estará comprometida e poderá ocorrer um acidente aeronáutico, com perdas de muitas vidas humanas. Como não há como controlar a bolha, em tese, deverão ser adotadas medidas que possam alterar o próprio sinal do satélite, sua transmissão, recepção e processamento.

Após o modelo gráfico, há uma tabela com o resumo das contradições envolvidas.

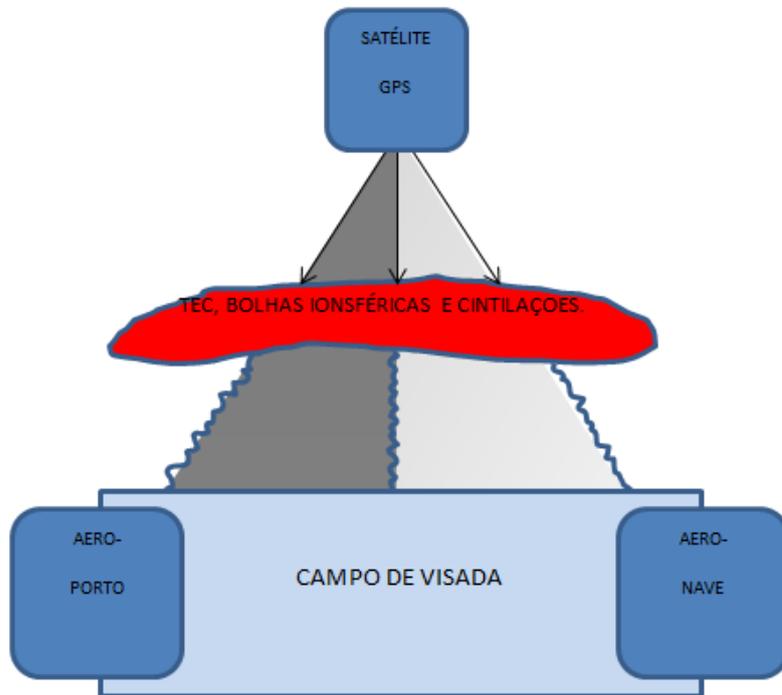


Figura 5.4 - Modelo gráfico de contradição técnica (*SuField GPS*)

PASSO 1.4 - Selecionar modelo adequado a análises mais completas.

Tabela 5.47 – Contradições envolvidas (GPS).

	SITUAÇÃO ATUAL	SITUAÇÃO FUTURA
VANTAGENS	O sistema GPS funciona normalmente quando não há efeitos nocivos da ionosfera.	Acréscimos de subsistemas complementares de satélites, transmissão, processamento e recepção para minimizar ou eliminar os efeitos nocivos da ionosfera.

(Continua)

Tabela 5.47 – Continuação

	SITUAÇÃO ATUAL	SITUAÇÃO FUTURA
DESVANTAGENS	Os efeitos negativos da ionosfera (TEC, bolhas ionosféricas e cintilações), quando presentes, degradam a precisão e disponibilidade do sinal.	Aumento do número de satélites e equipamentos de recepção e processamento necessários, gerando custos de projetos e implantação. Há também a necessidade de estudos complexos e a longo prazo, assim como aprovação e homologação das propostas de soluções.

PASSO 1.5 - Intensificar o conflito pela ação do estado extremo dos elementos.

Se a interferência ionosférica atuar de uma maneira muito acentuada sobre o sinal GPS na região equatorial, a informação fornecida pelo sistema não será confiável e muito menos precisa.

PASSO 1.6 - Descrever o modelo do problema indicando: o par em conflito, a definição de conflito intensificado, o que o produto mágico deve fazer para resolver o problema (manter, agregar, eliminar, melhorar, fornecer e outros)

- a) Par em conflito:** informações do GPS e interferências da ionosfera.

Observação: As informações a seguir serão extraídas da Tabela 5.3.

- b) Recursos disponíveis :** satélites, transmissores e receptores de satélites, mapas virtuais, referenciais geográficos, equipamentos e instrumentos, auxílios à navegação, GNSS/DGPS/DGNSS, antenas específicas, algoritmos de cálculos, sistemas de

comunicação, efeito *Doppler*, antenas e refletores alternativos, modelos matemáticos de comportamento, equipamentos das aeronaves e subsistemas automatizados.

- c) **Sistema:** GPS/ GNSS.
- d) **Supersistema:** atmosfera, ionosfera, gravidade, solo, relevo e espaço (podem conduzir a reflexões de sinal, integração numérica, plataformas inerciais e modelos dinâmicos do voo).
- e) **Assegurados:** satélites, transmissores e receptores de satélites, mapas virtuais, referenciais geográficos, equipamentos e instrumentos, auxílios à navegação, GNSS/DGPS/DGNSS, antenas específicas.
- f) **Prováveis:** algoritmos de cálculos, sistemas de comunicação, efeito *Doppler*, antenas e refletores alternativos, modelos matemáticos de comportamento, equipamentos das aeronaves e subsistemas automatizados.

A seguir serão realizados vários questionamentos para o surgimento ou reforço de propostas de solução, utilizando os recursos disponíveis.

1) Podem os SATÉLITES ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, com a inclusão de mais sistemas de satélites pode-se obter mais fontes de dados e aumentar o número de satélites com elevação alta e menores erros ionosféricos. Mas se todos os sinais dos satélites estiverem sob efeito de TEC alta, incluindo o extra, a informação adicional de distância é anulada por uma variável desconhecida relativa ao TEC do novo satélite; assim, faltam duas informações para resolver o sistema de TEC e posição, que podem ser de altímetro, mapa virtual, ou evolução no tempo. Notar que as frequências do GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU são diferentes e com satélites próximos e caminhos similares, pode-se estimar o TEC. Os satélites podem ter tanto uma como

mais frequências, havendo a possibilidade de retransmitir informações sobre erros transmitidos às aeronaves por estações terrestres (sistemas diferenciais). Podem-se usar nanossatélites com frequências mais altas, de baixo custo de implantação e chance de usar tecnologia brasileira. Também se ressalta que, com mais satélites, as estações de solo têm mais chance de mapear as bolhas. **(P1/P2/P3/P14/P15)**

2) Podem os TRANSMISSORES e RECEPTORES DE SATÉLITES ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, em algumas propostas, os transmissores ou receptores devem sofrer alterações relevantes para complementar as informações do GPS, como no caso de utilização de satélites menores (nanossatélites) e previsão das características da bolha ionosférica. Variações de *Doppler* não condizentes com modelos de voo, inércia, direção e outras características indicam que há variação na TEC. O transmissor e receptor de múltipla frequência pode, não somente corrigir parcialmente o erro, como avaliar o erro desta correção. Um transceptor de sinais GPS a bordo da aeronave pode garantir que o nível de sinal transmitido seja o mais adequado e que os sinais refletidos retornem à aeronave no nível ideal para as operações de processamento necessárias à identificação dos alvos de posição conhecida no solo e radiolocalização da aeronave. São possíveis alvos a serem identificados: refletores catadióptricos próximos à pista, torre do aeroporto, singularidades do relevo e outros prédios. O radioaltímetro usado para determinação do item mais crítico (a altitude) também é um transmissor, sendo que o GPWS (*Ground Proximity Warning System*) com radioaltímetro é obrigatório para aviões com mais de 5,095 toneladas. **(P1/P10/P11/P12/P13/P14/P15)**

3) Podem os MAPAS VIRTUAIS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, se forem utilizados sistemas para detectar a posição e movimento das bolhas, poderiam ser instalados monitores em centros específicos e nas aeronaves, com a visualização das bolhas e do TEC representados em cores distintas, para tomadas de decisões quanto a trajetos a serem seguidos. Se a velocidade da aeronave for constantemente monitorada e integrada, projeções virtuais da mesma poderão auxiliar na localização das aeronaves nos mapas virtuais que forem instalados no processamento das imagens, os quais conterão informações dos principais referências do terreno. Esta solução também poderá ser considerada no caso de altímetros (ondas de radiofrequência ou laser) para pousos em locais remotos ou de emergência, já que o pouso poderia ser efetuado sobre edificações ou outros locais não previstos quando há informações errôneas. **(P7/P10/P15)**

4) Podem os REFERENCIAIS GEOGRÁFICOS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Quando o relevo apresenta picos elevados, estes são utilizados para instalar os diversos tipos de antenas, principalmente repetidoras e *pseudolites*. Os demais referenciais geográficos, como rios e montanhas, são muitas vezes utilizados como auxílios à navegação aérea (visual e para reflexão de sinais). As grandes construções e monumentos também poderiam ser utilizados como instrumentos de reflexão de sinais. No caso do GPS, as montanhas maiores poderiam ser utilizadas como refletores de sinais, aproveitando o efeito *Doppler* (eco) para complementar as informações de posição. **(P5/P8/P11/P12)**

5) Podem os EQUIPAMENTOS e INSTRUMENTOS (em operação e que não fazem parte do GPS) ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Como a dinâmica da TEC é relativamente lenta, várias medidas de outros sinais podem ser feitas para achar o TEC e usar estes dados em

um sistema de equações ou regressão (refinada a TEC satélite a satélite, tem-se baixo erro de posição). Precisa-se de duas informações complementares para obter posição e TECs ou mais informações para tratar o problema de modo estatístico. Assim, a inserção de mais equipamentos tem grande potencial na solução do problema. Auxílios à navegação, navegação inercial, altímetros mais precisos e *pseudolites* podem fazer parte desta opção. Todo e qualquer equipamento capaz de gerar uma informação de posição de modo diferente do GPS, pode contribuir de algum modo para melhoria da estimativa de posição da aeronave se o método adequado de tratamento de dados for utilizado. Nanossatélites podem aumentar a disponibilidade de satélites ou mudar a frequência de operação. **(P5/P10/P12/P14/P15)**

6) Podem os EQUIPAMENTOS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, embora os mesmos estejam sendo substituídos pelo CNS/ATM, os seus princípios podem continuar a ser usados como sistemas complementares. O sinal de sistemas como estes não passam pela ionosfera, podendo ser usados para melhorar a precisão do GPS, considerando que podem ser utilizados para fornecer dados de posição, inclusive de altitude (inercial/altímetro). Devido à dinâmica lenta do TEC há possibilidade de uso de esquemas de regressão e filtragem na melhoria da determinação de posição. **(P5/P10)**

7) Podem as ANTENAS ESPECÍFICAS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, podem ser necessárias antenas específicas para complementar as informações do GPS, como no caso da utilização de estações de radiodifusão e celular. Há outros casos ainda como as antenas refletoras (desvio do sinal) ou transmissores georreferenciados (balões, VANTs),

antena de *pseudolite* e antena a bordo utilizando princípio do DME (auxílios à navegação aérea). Mesmo nanosatélites que têm sinal passando pela ionosfera, podem ajudar se forem em número suficiente e com frequência mais alta que a do GPS. **(P5/P8/P9/P12/P13/P14)**

8) Podem os ALGORITMOS DE CÁLCULOS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim. Para que a integração da velocidade, o processamento das informações com a utilização do efeito *Doppler* e o modelo da bolha possam ser corretamente equacionados, serão necessários algoritmos de cálculos complexos, considerando que estes métodos trabalham com informações muito sedimentadas e variáveis no tempo, exigindo um embasamento teórico consistente e implementação compatível. No curto período o TEC é constante, o que indica que a velocidade é mais confiável que a informação de posição direta; integrando-se a velocidade e comparando com a posição dada diretamente pela trilateração, tem-se uma ferramenta para estimar o TEC. Regressões compostas de *Doppler* e posição direta podem se tornar efetivas. Deve-se considerar ainda que, nas aeronaves maiores, o radioaltímetro é obrigatório devido ao sistema de alerta de proximidade do solo, EGPWS (*Enhanced Ground Proximity Warning System*). **(P7/P11/P15)**

9) Podem os SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim, há a possibilidade dos sistemas de radiodifusão e os de celulares serem usados como referências de localização, a exemplo do que já ocorre na aviação com a radiodifusão (NDB/ADF). Os equipamentos das aeronaves seriam adaptados e aperfeiçoados para captar sinais das estações celulares e fazer uma interpolação com os sinais de radiodifusão, aproveitando a infraestrutura dos dois sistemas. Os sistemas celulares CDMA permitem obtenção da distância à rádio base

por defasagem de código, como o sinal do GPS. Conforme a IEEE 1588, atualmente há três padrões de requisitos de sincronismo de sistemas de telefonia móvel com 50 ppm, 2 ppm e 0,05 ppm de erro máximo em frequência e sincronismo, com tendência a aumentar a fração do total de sistemas operando nos dois padrões mais restritos que, considerando o IS5 de 1,228 MHz de *chip rate* de código, fornecem efeitos de relógio de 1 cm no erro de posição (pior caso). Há, inclusive, a possibilidade da obtenção das informações de posição ser realizada por intermédio do efeito *Doppler*. Os nanossatélites podem também ser fonte secundária de dados GPS, complementando-as com informações possivelmente isentas dos efeitos ionosféricos. A troca de informação entre aeronaves deverá aumentar a base de dados de análise de erros gerados pelo TEC, melhorando a precisão. Em especial, a hipótese de que os sinais de receptores de dupla frequência passem por caminhos de mesma TEC pode ser melhor corrigida com dados de múltiplas aeronaves, principalmente se estas usarem integração de velocidade ou outro meio de achar sua posição. Aeronaves maiores com mais recursos deverão ajudar as menores. **(P7/P11/P13/P14/P15)**

10) Pode o EFEITO *DOPPLER* ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim. Pode-se estimar a velocidade da aeronave por efeito *Doppler* ou utilizá-lo na aeronave para complementar as informações de GPS, utilizando-se sistemas de satélites e de comunicações externos ao GPS como os satélites geoestacionários, estações de radiofrequência e de celulares no solo, princípios de auxílios à navegação, *pseudolites* e nanossatélites. Havendo desvio variável no tempo, as diferenças de caminho devido à variação de frequência permitem uma estimativa precisa com relação a todos os satélites GPS, mesmo com a degradação ionosférica, principalmente se variações de *Doppler* de solo forem comparadas com as do sinal do GPS. Independentemente das afirmações

dos autores de determinação da posição via GPS com *Doppler* ou com os mais variados filtros, o que se constata nestes artigos é que os dois métodos têm precisões similares, contudo ambos têm precisão bem melhor que aquela relativa à trilateração direta. (ELIASSON, 2014; FILHO et al., 2003; SABSUD, 2008; WANG et al., 2011; WILLMAN, 1965) **(P5/P11/P12/P13/P14)**

11) Podem as ANTENAS E REFLETORES ALTERNATIVOS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, o uso de antenas muito acima do solo, embarcadas em balões estratosféricos estáveis ou VANTs (ou elas mesmas no formato de balões) para operarem como *pseudolites* ativos ou passivos, aumenta a área de cobertura de seu sinal, e pode ainda ter custo menor que muitas antenas tradicionais. Podem funcionar como sistema de acréscimo, fornecendo dados de posição que ajudem a corrigir os efeitos das bolhas, seja por interpolação, modelos das bolhas ou como fonte primária de posição. Refletores difusos de baixo custo podem ser colocados em pontos estratégicos perto da pista, para que o sistema de sincronização de código os detecte e, pela posição relativa entre eles, os identifique e os transforme em referências de posição, desde que sua localização exata esteja na base de informações de bordo. Assim, o computador de bordo pode calcular a posição da aeronave com precisão, pelo menos duas vezes melhor do que com o GPS direto. Quando a aeronave gera um sinal GPS ou retransmite um sinal GPS com transposição de frequência e ilumina (com este sinal) refletores de posição conhecida no solo, o sinal percorre duas vezes o caminho entre a aeronave e o refletor. Com isto, o erro de sincronismo de *chip* na posição é a metade daquele relativo a um *pseudolite* ativo no solo cujo sinal percorre apenas uma vez este caminho. Sendo o sinal gerado a bordo, há menores erros de sincronismo de

relógio, que é limitado ao erro interno do próprio relógio da aeronave. A frequência deste sinal deve obedecer à alocação fornecida pelo aeroporto. **(P8/P9/P12/P15)**

12) Podem os MODELOS MATEMÁTICOS DE COMPORTAMENTO ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim. Estes modelos podem ajudar consideravelmente na modelagem da ionosfera ou da bolha ionosférica, sendo a da ionosfera mais abrangente por considerar seu comportamento em diversas áreas do globo terrestre. A modelagem da bolha é mais localizada e dedicada às áreas equatoriais, baseando-se principalmente em informações de dados de posição das bolhas, obtidos por equipamentos e instrumentos diversos, principalmente aeronáuticos. Modelos inerciais da aeronave podem detectar variação do TEC por acelerações incompatíveis com o modelo de voo, informações de velocidade (Pitot), altímetro e inércia da aeronave. Há novos modelos que correlacionam o TEC às características de cintilação do sinal. Com os efeitos da ionosfera, há alterações no percurso do sinal, que depende da frequência e da direção. Não somente o tempo de percurso, mas a frequência de cintilação também deve estar relacionada com o tamanho da bolha ou desvio. Todas estas características da ionosfera e da propagação do sinal na mesma poderão contribuir para que provavelmente surjam dados suficientes sobre as bolhas ionosféricas, a fim de que ela seja detectada e seus efeitos cancelados ou minimizados ao máximo. As bolhas ionosféricas, assim como a ionosfera, poderão ser eficientemente modeladas se os dados coletados sobre a sua dinâmica, em especial nas regiões equatoriais, forem submetidos a estudos mais aprofundados. Os modelos atuais são mais relativos à ionosfera, como o de Klobuchar (1987), com suas limitações. O aparecimento das bolhas segue um determinado padrão regido pela atividade solar, sendo que a máxima solar altera o tamanho, o

número e o período de ocorrência das mesmas. Outra informação para a correta modelagem é que a formação das bolhas ocorre em períodos específicos do ano no período noturno, apresentando deslocamento característico. As causas da origem dessa deformação atmosférica ainda são desconhecidas e uma das teorias mais aceitas é que são produzidas por perturbações na baixa atmosfera. O conhecimento das propriedades de transmissão e reflexão de ondas no plasma é essencial para que se possa combinar a dinâmica das bolhas e as informações coletadas sobre elas. Um estudo englobando os onze anos do ciclo solar, principalmente nos períodos de máxima intensidade, como ocorreu em 2013/2014, seria essencial para a obtenção de resultados relevantes em termos de modelagem de bolhas. **(P4/P10/P15)**

13) Podem os EQUIPAMENTOS DAS AERONAVES ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim. Poderiam ser obtidas várias fontes de dados de posição integradas em um único subsistema da aeronave com um visor específico, centralizada em um mapa virtual com código de cores de acordo com o TEC e bolhas ionosféricas. As fontes de informação seriam: equipamentos e instrumentos que operam com os princípios de auxílios à navegação aérea, integração da velocidade, inerciais, altímetros, efeito *Doppler*, estações de radiodifusão e de celular. Isto considerando somente as fontes de dados que podem complementar os dados do GPS ou estão relacionadas com o processamento que os equipamentos das aeronaves já fazem ou poderiam fazer com baixo custo de implementação. As informações destas fontes seriam transmitidas a um centro de processamento de dados, em solo, por várias aeronaves para gerar um mapa da área de pouso e decolagem. Se as aeronaves passarem as informações de sua posição GPS, o número de sensores disponíveis para determinar as dimensões da bolha aumentaria sobremaneira. Assim, há a chance de calcular as dimensões das bolhas,

aplicando-se uma regressão por mínimos quadrados com um coeficiente de correção em função das coordenadas 3D de cada aeronave. Como a dinâmica do TEC é relativamente lenta, várias medidas de outros sinais podem ser feitas para achar o TEC em um sistema de equações ou regressão. **(P5/P7/P10/P11/P13/P15)**

14) Podem os SUBSISTEMAS AUTOMATIZADOS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim. Os dados das estações do SBAS tanto trafegam pelo solo como são enviados aos satélites. O SBAS possui um centro de processamento de dados que gerencia todas as informações coletadas, em especial a velocidade (integrada em um banco de dados). De modo similar, modelos da ionosfera ou da bolha poderiam usar centros específicos de coleta de dados que fariam processos de interpolação, integração e monitoramento tanto da ionosfera, como das bolhas ionosféricas e sinais GPS, gerando um mapa virtual capaz de mostrar o percurso da aeronave em relação ao comportamento da ionosfera (incluindo bolhas), para planejamento de voo, pousos e decolagens. Pode-se considerar como fontes de informação as mesmas propostas de soluções da questão anterior e mais as do SBAS e do modelo ionosférico. **(P2/P4/P5/P7/P10/P11/P13/P15)**

15) Podem as informações disponíveis no GPS ajudar a eliminar os efeitos da ionosfera na determinação da posição do próprio sistema ?

R- Sim. A velocidade da aeronave, obtida pelas informações GPS, poderá ser integrada para futuras projeções se houver descontinuidade nos sinais do sistema. Filtros ou a captação do efeito *Doppler* no sinal GPS podem gerar dados menos sensíveis aos efeitos da ionosfera. As alterações no percurso, fase ou frequência de sinais que passarem por bolhas ionosféricas podem ser usadas para delimitar TEC e dimensões de bolhas. A interpolação dos dados dos sinais GPS também é um item que pode ser útil em propostas de soluções diretamente ligadas a este. Assim,

pode-se explorar neste caso, itens como: a multiplicidade de frequências de nanossatélites ou do próprio sistema, integração de velocidades e efeito *Doppler*. Também há a possibilidade de usar *pseudolites* (cópias do GPS) e modelagem da bolha que poderá usar as informações da propagação do mesmo. **(P1/P7/P11/P12/P14/P15)**

16) Pode o GNSS ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim, com a inserção de novos sistemas globais como o GLONASS, GALILEO e BEIDOU, espera-se ter mais satélites visíveis e aumento da elevação média de visada com decorrente redução de efeitos ionosféricos. **(P2/P3)**

17) Pode a ATMOSFERA ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim. Mudar a referência de sinais dos sistemas diferenciais do solo para a atmosfera utilizando balões, dirigíveis estratosféricos e VANTs, como repetidores ou geradores de sinal com posição referenciada, usando o canal de código de um satélite não visível. Comparadas com as informações do GPS, estes dispositivos poderiam ser fontes de interpolação para correções de uso geral, aeronáutico e marítimo. **(P9)**

18) Pode a própria IONOSFERA ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim. A contribuição será indireta, considerando que os estudos do comportamento do TEC na ionosfera poderão contribuir com as modelagens matemáticas nesta camada da atmosfera. **(P4/P15)**

19) Pode a GRAVIDADE ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, com o uso de antenas infláveis, balões e VANTs, a gravidade entra como um fator essencial para que estes dispositivos permaneçam em suas posições por intermédio do equilíbrio com outras forças. O horizonte artificial depende da gravidade e ajuda a determinar a direção de voo, parâmetro que é importante em modelos de propagação. Este instrumento é considerado como um instrumento de navegação, porém possui como princípio de funcionamento o giroscópio (sistema inercial).

(P8/P9/P10)

20) Pode o SOLO ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R – Sim, com as propostas de soluções que possuam estações terrestres fixas, de posição conhecida, que podem fornecer dados para a correção das informações de posição do GPS (sistemas diferenciais como SBAS e estações terrestres). Em tese, o solo é apropriado para receber itens fixos que possam auxiliar na determinação de posição, quer estes itens sejam ativos ou passivos, devendo receber a função de referência de posição, exercida atualmente no GPS somente pelo satélite. O solo também é ponto de apoio para o radioaltímetro. Discrepâncias entre dados deste instrumento para uma posição estimada da aeronave mostram que ela não é exata, e há várias opções de estimadores capazes de corrigir a posição com este dado. Perto da cabeceira da pista o solo é plano (geralmente com grama) e praticamente no nível da pista; assim, ele é fonte de informação para a altitude da aeronave no momento do pouso. Em especial, no caso de marcadores naturais (ravinas, fendas, declives e outros), o ajuste da posição poderá ser feito mais facilmente. Em resumo, neste item pode-se considerar os sistemas que possuem equipamentos ou antenas instalados em solo ou possuam princípios de operação que dependam do solo (auxílios à navegação, antena inflável, altímetro, *pseudolite*, estações de radiodifusão/celular e modelo da bolha).

(P2/P5/P6/P8/P10/P12/P13/P15)

21) Pode o RELEVO ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim. Se houverem montanhas ou outras elevações suficientemente altas e que gerem reflexão confiável de sinais (eco), passíveis de serem identificadas e comparadas com dados de mapas eletrônicos, há chance de acoplar estas informações ao sistema de localização para aumentar a precisão em alguns locais específicos, em especial junto a aeroportos. Todas as propostas de soluções do questionamento anterior poderiam beneficiar-se do relevo, já que as suas informações dependem do solo e a distribuição do relevo pode ser um fator de referência muito importante em determinados locais e ocasiões. **(P2/P5/P6/P8/P10/P11/P12/P13/P15)**

22) Pode o ESPAÇO ajudar a eliminar os efeitos das interferências ionosféricas sobre as informações do GPS?

R- Sim. Considerando a palavra ESPAÇO como o espaço sideral, pode-se considerar a inclusão de outros sistemas do GNSS para prover sinais complementares (como o GLONASS, GALILEO, BEIDOU). Com o avanço da tecnologia dos nanossatélites, pode-se considerar o uso de satélites menores como repetidores dos sinais GPS. **(P2/P3/P14)**

PASSO 1.7- Aplicar padrões inventivos (se a solução ainda não apareceu).

As soluções identificadas pelas etapas anteriores do método de campo e substância são as mesmas já obtidas por matriz de contradição e princípios inventivos. Mas ainda podem aparecer novas soluções ou aperfeiçoamento das existentes nas fases posteriores do método. Os próximos passos conduzirão a uma análise mais detalhada do problema.

PASSO 2 - Analisar o problema (modelo do sistema).

2.1 Zona de operação (OZ): espaço onde serão obtidas as informações do GPS.

2.2 Tempo de operação (OT): tempo necessário para que as informações sejam coletadas.

2.3 Recursos de campo e substância disponíveis (SFR): satélites, transmissores e receptores de satélites, mapas virtuais, referenciais geográficos, equipamentos e instrumentos, auxílios à navegação, GNSS/DGPS/DGNSS, antenas específicas, algoritmos de cálculos, sistemas de comunicação, efeito *Doppler*, antenas e refletores alternativos, modelos matemáticos de comportamento, equipamentos das aeronaves e subsistemas automatizados (de acordo com a Tabela 5.3 e letra b do PASSO 1.6).

PASSO 3 – Definir o resultado final ideal (ifr) e contradição física (PhC)

3.1 – Formular ifr1 – com indicação de uma ação ruim na OT e OZ e manutenção de ação positiva (útil). O elemento X sem complicar o sistema e sem efeitos nocivos indesejáveis **deve** eliminar ação ruim no OT desejado e **prover** a ação positiva desejada.

Interpretação - Os sistemas ou princípios complementares, sem complicar o GPS e sem efeitos nocivos indesejáveis, **devem**:

- a) manter a disponibilidade de sinais de alta estabilidade de relógio, códigos e frequências adequados, provenientes de uma posição conhecida e facilmente associados a esta posição sem qualquer bloqueio de visada ou desvio de percurso de qualquer natureza entre a aeronave e a fonte de sinal (atualmente, a efeméride do satélite); e

- b) eliminar os efeitos da interferência ionosférica no cálculo da posição da aeronave durante o período entre a decolagem e pouso da aeronave e em voo sobre regiões com qualquer tipo de relevo e altitude inferior a 53000 pés (OZ).

Estes sistemas ou princípios devem **prover** informações confiáveis e precisas de posição da aeronave que facilitem o controle de tráfego aéreo e principalmente aumentem a segurança de pouso, tanto normal em aeroportos, como de emergência em terrenos ou corpos d'água conhecidos que ofereçam condições para este pouso (opcional).

Proposta de solução. As propostas de soluções que não compliquem o GPS, não provoquem efeitos nocivos indesejáveis e atendam aos requisitos enunciados são aquelas que não devem exigir estudos científicos a longo prazo (pesquisa complexa), infraestrutura em solo (complexidade e custos maiores) e grande quantidade de equipamentos com alto nível de complexidade de hardware e software. Quanto maior a quantidade e complexidade dos equipamentos mais efeitos indesejáveis podem aparecer, dependendo da área em que são instalados, como: multi caminho, *near far*, bloqueio de visada, desvio de percurso e outros. As propostas que estão menos sujeitas a estes fatores são: integração da velocidade e utilização do efeito *Doppler*. **(P7/P11)**

3.2 – Intensificar a definição ifr1 (com requisitos extras): proibição de uso de substâncias extras. Recursos já presentes no sistema eliminam o efeito negativo na **OT** e **OZ**, e **fornecem** o efeito desejado útil sem complicar o sistema e sem efeitos negativos adicionais.

Interpretação - Os equipamentos do próprio sistema GPS devem manter a disponibilidade de sinais de alta estabilidade de relógio, códigos e frequências adequados provenientes de uma posição conhecida e facilmente associados a esta posição, sem qualquer bloqueio de visada ou desvio de percurso de qualquer natureza entre a aeronave e a fonte de

sinal, durante o **período (OT)** entre a decolagem e pouso da aeronave em voo sobre regiões com qualquer tipo de relevo e altitude inferior a **53000 pés (OZ)** e de modo a **fornecer** informações confiáveis e precisas de posição da aeronave que facilitem o controle de tráfego aéreo e, principalmente, aumentem a segurança de pouso sem complicar o sistema e sem efeitos negativos adicionais.

Proposta de solução - Esta ifr é mais restritiva ainda e a única proposta do GPS que atende à mesma é a utilização de multifrequências, cujos valores podem ser alterados e envolvem somente os transmissores, receptores e antenas do próprio GPS, sem nenhum tipo de acréscimo. Todas as outras propostas apresentam recursos extras a fim de compensar os efeitos ionosféricos no sistema, tanto com relação a equipamentos quanto processamentos necessários. **(P1)**

3.3 – Identificar a contradição física no nível macro (a). Usa-se o padrão: A OZ dentro do OT **deve** {**garantir** uma propriedade /estado} **para fazer** {ações ligadas ao conflito} e **não podem** {causar as ações que deterioram – ao menos uma} para executar {ação 2 do conflito}.

Interpretação – A região onde a aeronave opera voando, decolando ou pousando dentro do período de operação da aeronave compreendido entre o início do movimento e seu estacionamento final em outra posição, **deve garantir:**

- a) ao menos quatro sinais de relógio ultraestáveis apoiados no relógio atômico de algum satélite de sistemas de posicionamento global;
- b) código pseudoaleatório adequado;
- c) variação de intensidade com a posição, compatível com a ausência de problemas de detecção, facilmente associado a uma referência de posição e sem qualquer bloqueio de visada ou desvio de

percurso de qualquer natureza entre a fonte de sinal (atualmente, o satélite) e a aeronave.

Estas garantias serão necessárias **para fazer** com que a detecção de sinal permita à aeronave calcular sua posição sem ambiguidade por trilateração 3D com as posições nominais das fontes de sinal. Os sinais detectados pelos receptores **não podem** sofrer qualquer efeito da ionosfera, eventualmente por não atravessá-la no percurso entre sua referência nominal e a aeronave para que cálculo da diferença de posição não seja deteriorado pelos efeitos prejudiciais, bolhas ionosféricas e cintilações.

Proposta de solução - Um par de sinais do satélite (no mínimo) deve ser usado como referência de posição para que a informação do relógio seja absolutamente confiável, mesmo que um dos sinais passe pela ionosfera, onde o TEC faz seu percurso tornar-se incerto de forma a gerar erros inaceitáveis para determinação de posição; ao mesmo tempo, o outro não pode passar por esta fração da ionosfera entre a referência de posição (satélite) e a aeronave, para que o TEC não interfira no cálculo de posição. A proposta de solução já existente que pode atender a esta restrição é a do uso de nanossatélites nas frequências definidas na norma ITU 55.461, que captarão os sinais GPS e os retransmitirão entre de 7250 a 7375 MHz, com erros ionosféricos 35 vezes menores que os dos sinais do GPS. **(P14)**

3.4 – Identificar a contradição física no nível macro (b). Usa-se o padrão: **deve haver** partículas da {substância} no {estado X com a capacidade de ação Y} na OZ dentro do OT **deve {garantir uma propriedade / estado} para fazer** {ações ligadas ao conflito} e **não podem** existir estas partículas para {causar as ações que deterioram – ao menos uma} **para executar** {ação 2 do conflito}.

Interpretação - Deve haver sinais de GPS dentro da região de operação da aeronave, durante seu período de operação, que **deve passar** pela ionosfera **para** que se possa **aproveitar** toda a infraestrutura de geração do sinal de GPS presente nos satélites e **não podem** ocorrer quaisquer bloqueios de visada ou desvios de percurso de qualquer natureza destes sinais (GPS ou idênticos ao mesmo) entre a posição associada à fonte atual (atualmente, os satélites) e os receptores, **para que** não permitam degradação de informação devido aos desvios ionosféricos.

Proposta de solução - O sinal do GPS deve cruzar a ionosfera onde sofre desvios desconhecidos gerados pelo TEC para que possa chegar à aeronave, mas não pode permanecer sob o efeito destes desvios, para que o cálculo da posição da aeronave seja preciso. Considerando que as características da ionosfera são difíceis de serem previstas e seus efeitos podem ser considerados desconhecidos na maior parte do tempo. Somente o uso de satélites em frequências três a nove vezes mais altas que a frequência original do GPS poderá garantir simultaneamente baixos desvios ionosféricos do sinal e baixa atenuação por umidade. Uma oportunidade é usar retransmissores de sinal GPS em órbita, função que pode ser feita por nanosatélites com baixo custo. Verificando-se a tabela de atribuições de frequência, constata-se somente uma banda disponível nesta faixa. **(P14)**

3.5 – Descrever o sistema ideal modificado ifr2 via padrão: A OZ **deve prover** {o que é} **para fornecer** {indicar os estados opostos} por si só no OT.

Interpretação – A zona operacional (OZ) **deve prover** uma referência de posição associada ao sinal do GPS livre de qualquer desvio de percurso ou bloqueio de sinal para que o satélite possa ter uma fonte de sinal de posição conhecida que o permita calcular sua distância à referência e

obter sua posição sem ambiguidade por trilateração 3D. Isto deve ocorrer para que a OZ **possa fornecer**:

- a) sinal que não atravesse a ionosfera alterada pelo TEC para não sofrer desvios que gerem perda de informação;
- b) sinal que atravesse a ionosfera para que se aproveite a infraestrutura dos satélites do GNSS.

Não há restrição de ser a mesma fonte durante todo o tempo de operação, até porque os satélites do GPS, sendo do tipo MEO (*Medium Earth Orbit*), são diferentes ao longo do tempo.

Proposta de solução- Parte do percurso do sinal do GPS até a aeronave tem de passar pela ionosfera para que possa chegar à mesma, e parte não pode passar pela ionosfera sujeita aos efeitos prejudiciais do TEC entre a referência de posição (satélite) e a aeronave para que não se introduzam erros de cálculo de posição em qualquer fase de voo de interesse, por si só, dentro da região de voo da aeronave de interesse. Neste caso, podem ser considerados o uso de *pseudolites* passivos e o uso dos nanosatélites, os quais proporcionam trajetos alternativos para o sinal que podem não estar sob efeitos da ionosfera. **(P12/P14)**

3.6 –Aplicar padrões inventivos para resolver a contradição física.

O método de iteração campo e substância, conhecido como “*SU Field Analysis & 76 inventive Standards*” é um método mais elaborado de modelar uma situação-problema em uma zona de operação, durante um tempo de operação, em função de uma contradição formulada. Baseia-se no conceito básico de que a transformação de qualquer substância material só ocorre por iteração com outra substância ou fator físico (campo, força ou outros) e envolve energia. São utilizados 76 princípios inventivos (Anexo B- Tabela de padrões inventivos) para garantir uma evolução útil do sistema que produzem soluções mais perto da

idealidade que uso de princípios isolados. Para o caso específico do GPS vários tipos de regras poderiam ser aplicáveis. Com o objetivo de se evitar muita redundância na análise das propostas e não tornar a dissertação muito extensa, pode-se considerar alguns mais relevantes para o estudo em questão. Conforme o método, utilizando o conceito de melhorar o sistema sem ou com poucas alterações (item 1), pode-se utilizar as regras 1.1.1, 1.1.5, 1.2.1 e 1.3.2.

- a) REGRA 1.1.1 - Se um modelo de interação campo e substância é incompleto, complete-o com bom senso.
- b) REGRA 1.1.5 - Se o sistema não pode ser mudado, mas um aditivo no ambiente externo é aceitável, incorpore um aditivo que atue sobre o ambiente externo.
- c) REGRA 1.2.1 – Há no atual sistema interações tanto úteis como danosas e não é necessário o contato direto entre produto (S1) e ferramenta (S2), e não há restrição à introdução de novas substâncias, assim se pode remover o efeito nocivo pela introdução de uma substância S3 mediadora.
- d) REGRA 1.3.2 – Eliminação da ação prejudicial com novo campo.

A seguir serão interpretados para o caso GPS os modelos gráficos correspondentes às regras citadas.

1.1.1 Complete o Su-F

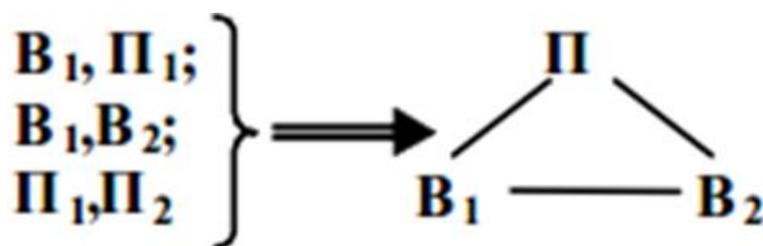


Figura 5.5 – REGRA 1.1.1 (*SuField* GPS)

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

O modelo se encaixa na Figura 5.5 com as representações a seguir.

B1= aeroporto

B2 = aeronave

II1 = campo produzido pelos sinais de satélites GPS.

II2 = outros campos.

Pode-se expandir o modelo gráfico com a observação de outra regra, a seguir.

1.1.5 Ação no meio externo com aditivo

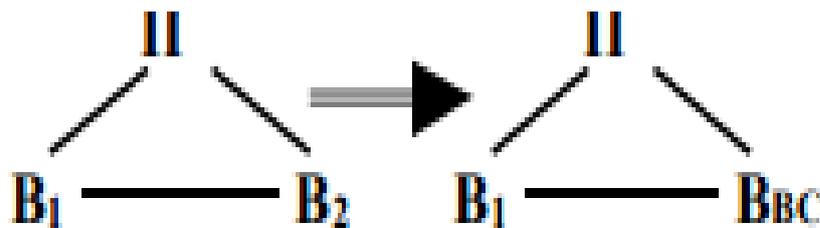


Figura 5.6 – REGRA 1.1.5 (*SuField* GPS)

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

Neste caso, mantém-se o campo produzido pelo GPS e se introduz aditivos conforme a interpretação do modelo.

B2= sistemas aditivos ao GPS (diferenciais)

----- = campo de visada entre o aeroporto e aeronave nos procedimentos de pouso e decolagem

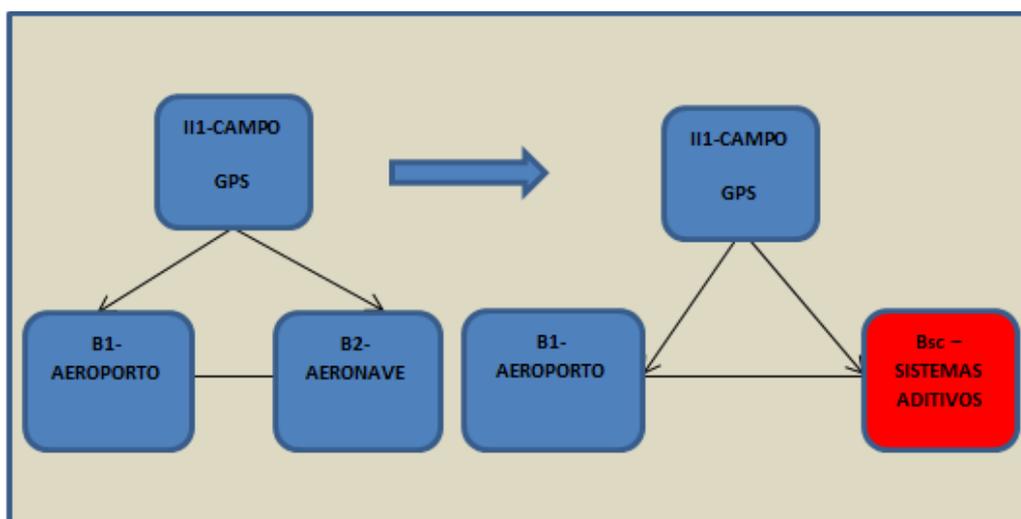


Figura 5.7 – Esquema da REGRA 1.1.5 (*SuField* GPS)

Interpretação (REGRA 1.1.5). O aeroporto e aeronaves recebem o sinal do GPS com as interferências ionosféricas, porém sistemas aditivos (diferenciais) podem ser utilizados para fornecer correções ou novos dados de posição para a aeronave, com localização nos aeroportos ou próximos dos mesmos. Apesar de alguns sistemas necessitarem de estações terrestres distantes do aeroporto para constituir uma grade ionosférica, este modelo gráfico reforça a necessidade de aditivos na cabeceira da pista ou próximos ao aeroporto. As propostas que contêm estes aditivos são: SBAS, estações terrestres, desvio do sinal e *pseudolites*. **(P2/P6/P8/P12)**

Considerando mais uma regra com seu modelo gráfico, pode-se inserir mais uma substância que seriam os sistemas que modificam o campo dos satélites GPS.

1.2.1 Su-F em cadeia

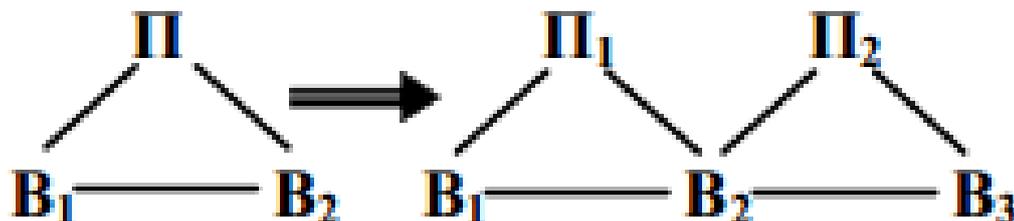


Figura 5.8 – REGRA 1.2.1 (*SuField* GPS)

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

B3 = sistemas que possuem outra função, mas podem complementar o GPS.

II2 = campo produzido pelos sistemas B3 (novo campo).

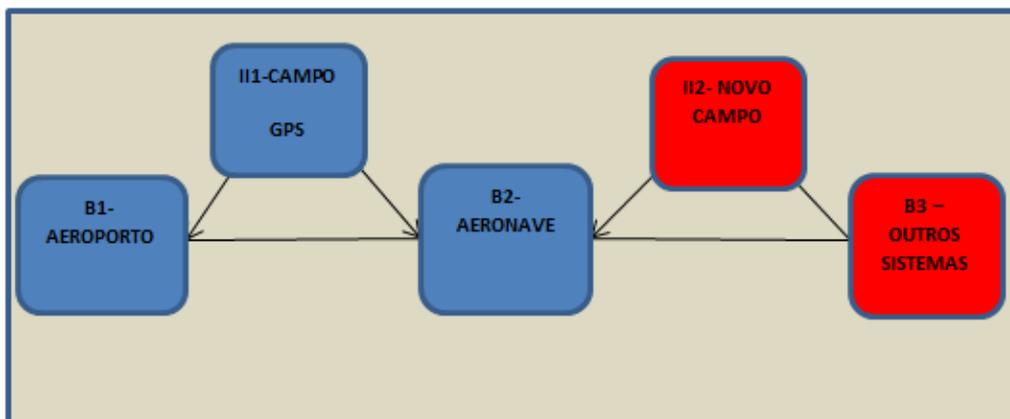


Figura 5.9 – Esquema da REGRA 1.2.1 (*SuField* GPS).

Interpretação (REGRA 1.2.1). O aeroporto e aeronaves recebem o sinal do GPS com as interferências ionosféricas, porém há a necessidade de complementar o GPS com sinais de outros sistemas utilizados para fornecer dados de posição de outras formas, principalmente relacionadas com a aviação. Como os sistemas diferenciais não atendem plenamente em todos os locais e circunstâncias, é essencial obterem-se dados de outras fontes, considerando a possibilidade de falhas relevantes do GPS devido aos erros provocados de modo particular pelas cintilações, que

podem causar transtornos consideráveis para o voo. As propostas de solução que se enquadram nesta regra são: auxílios à navegação aérea, balões/VANTs e estações de radiodifusão e celular. **(P5/P9/P13)**

A REGRA 1.3.2 é derivada da anterior, porém somente ressalta a utilização de novo campo.

1.3.2 Eliminando ação prejudicial com novo campo

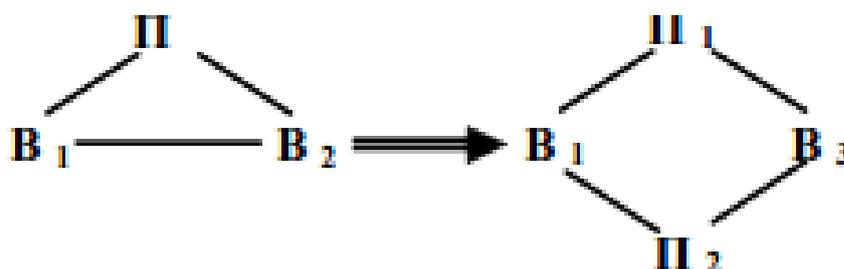


Figura 5.10 – REGRA 1.3.2 (*SuField* GPS)

Fonte: Adaptado de Petrov (2013)

Interpretação (REGRA 1.3.2). Este modelo gráfico reforça a utilização de propostas que forneçam um novo campo, o qual terá como fonte um outro sistema diverso do GPS, consistindo das mesmas propostas do caso anterior. **(P5/P9/P13)**

Alterando a categoria da solução para a obtenção de melhora por mudança no sistema (Anexo B- item 2), pode-se usar a REGRA 2.2.1 - Converta um modelo simples (“martelar direto a rocha”) para outro mais complexo (“martelar o formão para cortar a rocha”), introduzindo uma substância mediadora B3, que ao receber o campo original II1, o transforme em um campo II2, mais adequado à execução da tarefa.

2.2.1 Su-F de medição

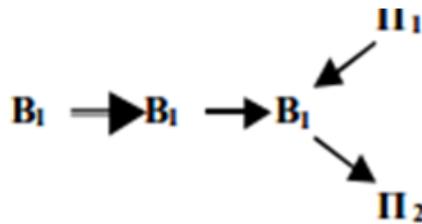


Figura 5.11 – REGRA 2.2.1 (*SuField* GPS)

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

Interpretação (REGRA 2.2.1). Esta regra reforça a aplicação das propostas de sistemas diferenciais, já que o SBAS, estações terrestres, antenas infláveis para desvio do sinal, *pseudolites* e nanossatélites serão a substância B3, que atuará nos sinais do GPS (II1) e o transformarão em outros sinais que produzirão campos (II2) mais adequados para fornecer dados de posição não alterados pelos efeitos da ionosfera. **(P2/P6/P8/P12/P14)**

Finalmente, tem-se a categoria de detecção e medida (Anexo B- item 4), onde uma das regras aplica-se a este caso. REGRA 4.1.2: Se o problema envolve medição é impossível modificar o problema para eliminar a medição, deve-se verificar se a medição indireta é mais vantajosa que a direta e usá-la sempre que isto ocorrer.

4.1.2 Faça uso de uma cópia



Figura 5.12 – REGRA 4.1.2

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

Interpretação (REGRA 4.1.2). A utilização de antenas infláveis (cópia das antenas comuns) e *pseudolites* (cópia do padrão de sinais GPS) são os tipos clássicos de utilização deste princípio. Como outros casos típicos de medições indiretas temos a integração de velocidades (determinação de posição por intermédio de cálculos, considerando o deslocamento) e utilização do efeito *Doppler* (utilização de efeito físico para geração de dado de posição). **(P7/P8/P11/P12)**

O método poderia ter a sua continuidade com o PASSO 4 (mobilizar e usar recursos sfr do sistema e super-sistema para implementar o conceito), porém nota-se que não surgiram mais novas propostas, podendo-se realizar uma estatística de todas as soluções apresentadas, incluindo as iniciais e as novas. Pela análise da TRIZ obtêm-se, até esta etapa, os seguintes resultados, apresentados nas figuras 5.13 e 5.14.

Se for estabelecido um ponto de corte de treze para o número de referências durante o processo (conforme Apêndices A e B), verifica-se que são selecionadas oito propostas (P5/P8/P10/P11/P12/P13/P14/P15), sendo somente uma proveniente das propostas iniciais. Na matriz de Pugh também foram selecionadas outras nove propostas, algumas em comum e outras não (P1/P3/P5/P7/P10/P12/P13/P14/P15). Realizando-se a intersecção dos dois conjuntos são obtidas onze propostas que poderão ser submetidas a outro método (P1/P3/P5/P7/P8/P10/P11/P12/P13/P14/P15).

Observação: O PASSO 5 do método de campo e substância (aplicação da base de conhecimento) foi realizado na revisão da literatura e nos passos anteriores. O PASSO 6 (modificar ou substituir o problema) foi considerado dispensável por apresentar baixa probabilidade de novas contribuições.

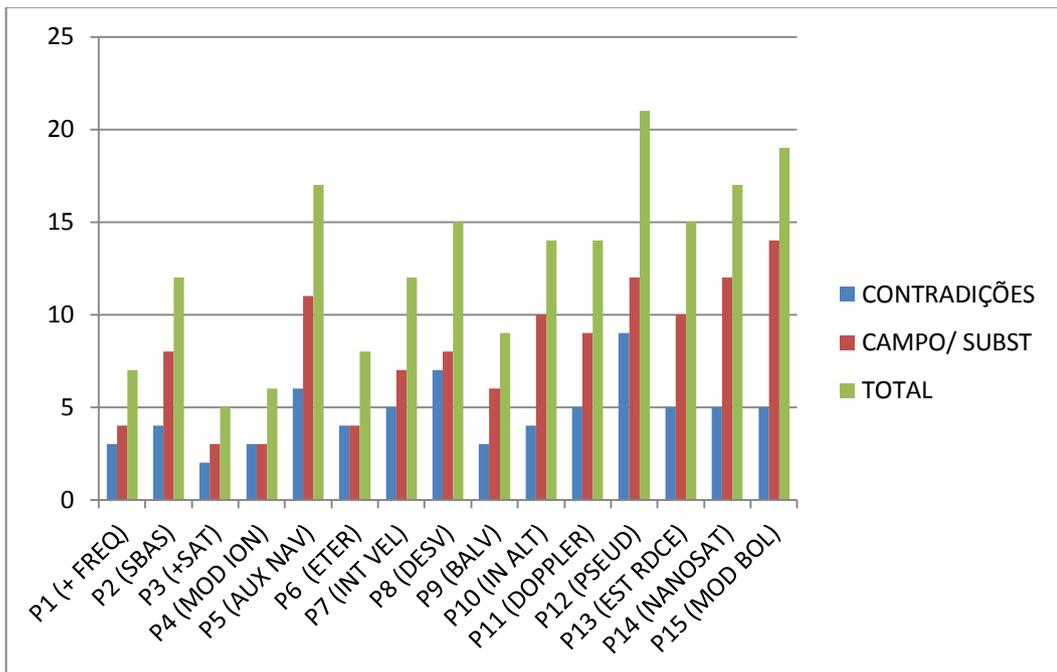


Figura 5.13 – Estatística das soluções (TRIZ/GPS)

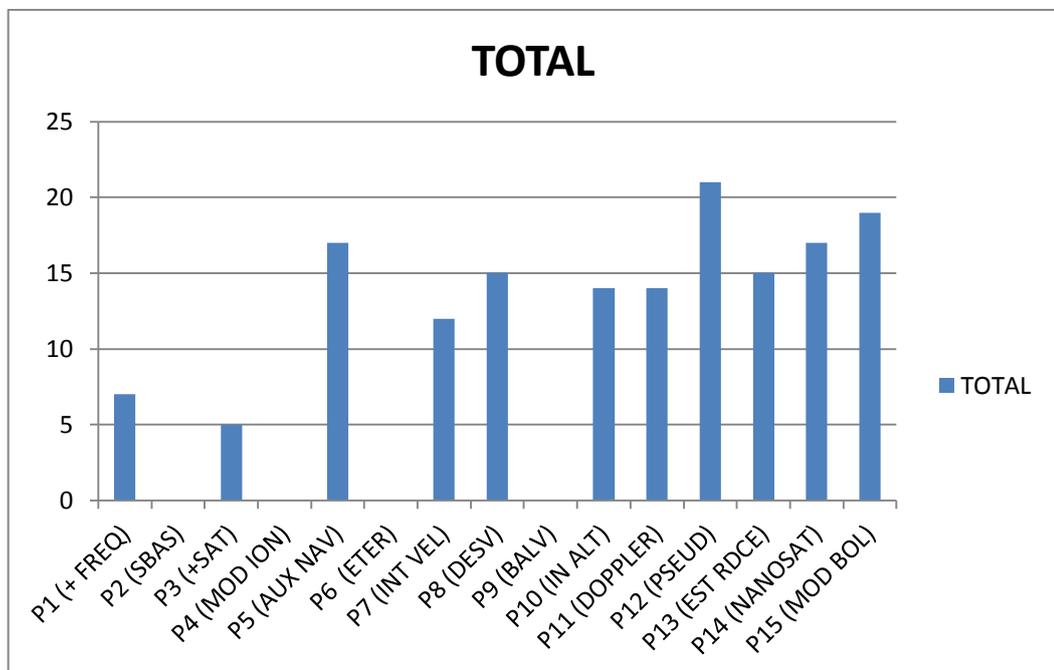


Figura 5.14 – Estatística das soluções (TRIZ e Matriz de Pugh/GPS).

Como este é um problema complexo, nesta dissertação será utilizado mais um método multicritério, o AHP (conforme revisão da literatura), visando estabelecer uma hierarquia menos subjetiva das soluções de acordo com os critérios mais relevantes. Estes critérios serão baseados naqueles empregados na matriz de Pugh, porém mais condensados, para não tornar a aplicação do método muito extensa para os propósitos da dissertação; a Tabela 5.48 resume estes critérios.

Tabela 5.48 – Critérios do AHP.

CRITÉRIO	FATORES A CONSIDERAR.
VIABILIDADE TÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> a) Emprego já sedimentado para a solução de problemas técnicos semelhantes em outras áreas e na área aviação. b) Possibilidade de desenvolvimentos futuros com a tecnologia nacional na área de aviação, mecânica, eletrônica e processamento de sinais. c) Menor prazo para realização do projeto em função da facilidade de obtenção dos recursos materiais necessários. d) Menor complexidade técnica e menor necessidade de estudos científicos a longo prazo. e) Adaptabilidade a regiões remotas (com ou sem obstáculos)
CUSTO ESTIMADO	<ul style="list-style-type: none"> a) Custo estimado, baseado nas informações da revisão da literatura, necessário para desenvolvimento do projeto, implementação e operação. b) Possibilidade de adaptação de sistemas aeronáuticos para o projeto (menor custo).
INFRAESTRUTURA	<ul style="list-style-type: none"> a) Possibilidade de aproveitamento de outros sistemas e apoio logístico oferecido pelos aeroportos e demais instituições da área da aviação. b) Maior acesso ao sistema completo para a realização das manutenções preditivas e corretivas. c) Maior possibilidade de disponibilidade de recursos humanos e materiais para operacionalidade do sistema.

Segundo Vianna (2015) e a revisão da literatura, o AHP se subdivide nas etapas a seguir, envolvendo o cálculo das matrizes (STRANG; BORRE, 1997). .

Etapa 1: Construção da hierarquia de decisão. Decomposição do problema/decisão em uma hierarquia (objetivo, critérios e alternativas). Para efeito de uma melhor análise das propostas, a utilização de *pseudolites* (ativos e passivos) e estações de radiodifusão/celular foram subdivididas, gerando as propostas 12 A (*pseudolite* ativo), 12 B (*pseudolite* passivo), 13 A (estação de radiodifusão) e 13 B (estação de celular).

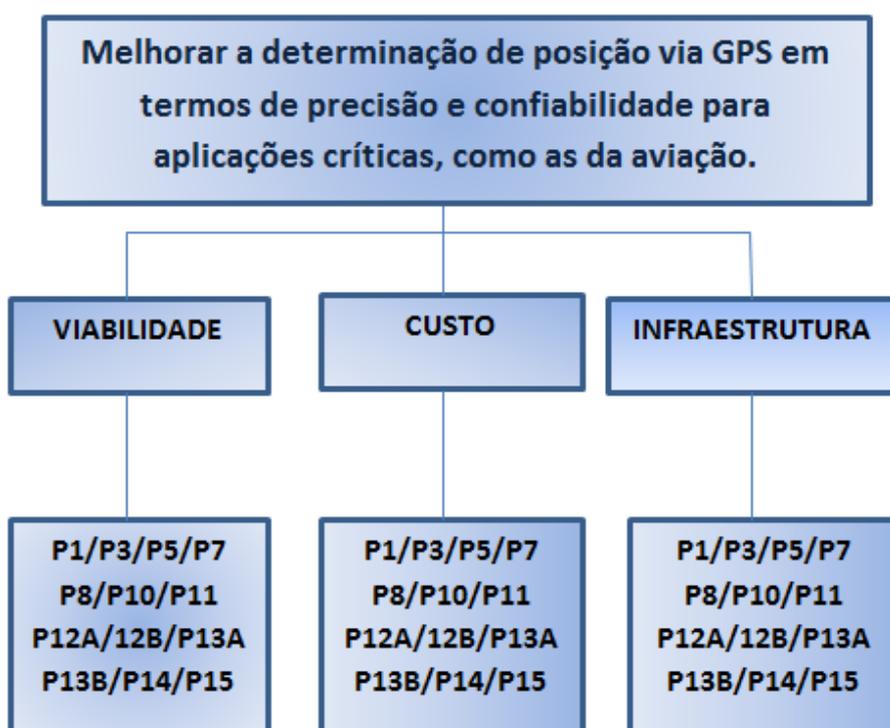


Figura 5.15 – Hierarquia de decisão (AHP)

Etapa 2: Comparação entre os elementos da hierarquia. Estabelecimento de prioridades entre os elementos para cada nível da

hierarquia, por meio de uma matriz de comparação, segundo a escala fundamental de Saaty, conforme revisão da literatura.

	VIAB	CUST	INFRA
VIAB	1	3	7
CUST	1/3	1	2
INFRA	1/7	1/2	1

Etapa 3: Prioridade relativa de cada critério

- a) Normalizar os valores da matriz de comparações (matriz **A**) - cada valor da matriz é dividido pelo total da sua respectiva coluna.

	VIAB	CUST	INFRA
VIAB	1	3	7
CUST	1/3	1	2
INFRA	1/7	1/2	1
	10/21	4 1/2	10

	VIAB	CUST	INFRA
VIAB	21/31	2/3	7/10
CUST	7/31	2/9	1/5
INFRA	3/31	1/9	1/10

- b) Obter o vetor de prioridades (**w**) : média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada obtida no item anterior.

	VIAB	CUST	INFRA	PRIORIDADE RELATIVA
VIAB	21/31	2/3	7/10	0,6814
CUST	7/31	2/9	1/5	0,2160
INFRA	3/31	1/9	1/10	0,1026

$$\text{Matriz de comparação - } \mathbf{A} = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/2 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\text{Vetor de prioridade- } \mathbf{w} = \begin{vmatrix} 0,6814 \\ 0,2160 \\ 0,1026 \end{vmatrix}$$

Etapa 4: Avaliar a consistência das prioridades relativas

Cálculo a Razão de Consistência (RC) .

RC= IC/IR onde:

IC – Índice de consistência;

IR - Índice de consistência referente (tabela)

Primeiramente, calcula-se:

λ_{\max} - representa o maior autovalor da matriz A

$$A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/2 & 1 \end{vmatrix} = \lambda_{\max} \cdot \begin{vmatrix} 0,6814 \\ 0,2160 \\ 0,1026 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 2,0478 \\ 0,6484 \\ 0,3080 \end{vmatrix} = \lambda_{\max} \cdot \begin{vmatrix} 0,6814 \\ 0,2160 \\ 0,1026 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \text{média} \{ (2,0478/0,6814) + (0,6484/0,2160) + (0,3080/0,1026) \} = 3,003$$

O IC pode ser obtido pela fórmula:

$IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, onde **n** é o número de critérios (3 para esta análise)

$$IC = (3,003 - 3)/(3-1) = 0,003/2 = 0,0015$$

Pela tabela a seguir (mencionada na etapa 4 do item 2.5), com uma matriz de comparação de ordem 3 (3 critérios), IR = 0,58.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	≥15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Como IC foi calculado anteriormente (0,0015) e RC verificado na tabela (0,58):

$$RC = IC/IR = 0,0015 / 0,58 = 0,0026$$

Observação: como RC é inferior a 0,1 os julgamentos são confiáveis.

Etapa 5: Construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas.

VIAB	P1	P3	P5	P7	P8	P10	P11	P12A	P12B	P13A	P13B	P14	P15
P1	1	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3
P3	1	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3
P5	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1
P7	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1
P8	1	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3
P10	1	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3
P11	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1
P12A	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1
P12B	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1
P13A	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1
P13B	3	3	1	1	3	3	1	1	1	3	1	1/3	1
P14	5	5	3	3	5	5	3	3	3	1	3	1	3
P15	3	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1/3	1

CUST	P1	P3	P5	P7	P8	P10	P11	P12A	P12B	P13A	P13B	P14	P15
P1	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	3	1/3	3	1	3	1
P3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	3	1/3	3	1	3	1
P5	3	3	1	1	5	1	1	5	1	5	3	5	3
P7	3	3	1	1	5	1	1	5	1	5	3	5	3
P8	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1	1/5	1	1/3	1	1/3
P10	3	3	1	1	5	1	1	5	1	5	3	5	3
P11	3	3	1	1	5	1	1	5	1	5	3	5	3
P12A	1/3	1/3	1/5	1	1	1/5	1/5	1	1/5	1	1/3	1	1/3
P12B	3	3	1	1	5	1	1	5	1	5	3	5	3
P13A	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1	1/5	1	1/3	1	1/3
P13B	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	3	1/3	1	1	3	1
P14	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1/5	1	1/5	3	1/3	1	1/3
P15	1	1	1/3	1/3	3	1	1/3	3	1/3	1	1	3	1

INFRA	P1	P3	P5	P7	P8	P10	P11	P12A	P12B	P13A	P13B	P14	P15
P1	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1	1	3	3
P3	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1	1	3	3
P5	1/5	1/5	1	1/5	1	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3
P7	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1	1	3	3
P8	1/5	1/5	1	1/5	1	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3
P10	1/5	1/5	1	1/5	1	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3
P11	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1	1	3	3
P12A	1/5	1/5	1	1	1	1	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3
P12B	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1	1	3	3
P13A	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1	1	3	3
P13B	1	1	5	1	5	5	1	5	1	1/3	1	3	3
P14	1/3	1/3	3	1/3	3	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1
P15	1/3	1/3	3	1/3	3	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1

Etapa 6: Obter a prioridade composta para as alternativas

Nesta última etapa, obtêm-se as prioridades compostas das alternativas, multiplicando os valores anteriores e os das prioridades relativas, obtidos no início do método.

Matriz de propostas x
matriz prioridade relativa =
matriz de prioridades

0,5282	1,3590	2,5385	× <table style="border-collapse: collapse; margin: 0 auto;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">0,6814</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle; padding: 0 10px;"> = </td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">0,2160</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">0,1026</td> </tr> </table>	0,6814	=	0,2160	0,1026	0,3047	P1
0,6814	=								
0,2160									
0,1026									
0,5282	1,3590	2,5385		0,3047	P3				
1,5641	2,8462	0,4667		0,5761	P5				
1,5641	2,8462	2,5385		0,6470	P7				
0,5282	0,4872	0,4667		0,1710	P8				
0,5282	2,8462	0,4667		0,3409	P10				
1,5641	2,8462	2,5385		0,6470	P11				
1,5641	0,5487	0,5282		0,4128	P12A				
1,5641	2,8462	2,5385		0,6470	P12B				
1,5641	0,4872	2,5385		0,4772	P13A				
1,7179	1,2051	2,4872		0,5620	P13B				
3,3077	0,6513	1,0513		0,7512	P14				
1,5641	1,2564	1,0513	0,3552	P15					

Pela aplicação do AHP verifica-se que algumas propostas obtiveram um fator de prioridade mais alto como P14, P7, P11 e P12B (superiores a 0,64) e outras obtiveram um fator abaixo de 50% do maior valor (0,32), como a P1, P3 e P8. Como as propostas com pontuações mais baixas (P1, P3 e P8) também não foram selecionadas pela TRIZ ou Matriz de Pugh, pode-se eliminá-las, restando oito propostas que foram aprovadas por dois métodos utilizados, no mínimo (P5/P7/P10/P11/P12/P13/P14/P15).

Considerando que a finalidade dos métodos heurísticos é selecionar do modo mais eficiente e eficaz possível as propostas de soluções inovadoras, é essencial que a AHP possa ser novamente aplicada para uma avaliação classificatória das mesmas. Como estas devem ser utilizadas em regiões urbanas e outras, em regiões remotas, as oito propostas serão separadas em dois grupos e analisadas, par a par, para que uma das soluções possa ser a redundância.

Tabela 5.49 – Classificação das propostas para seleção final.

TIPO DE PROPOSTAS	NÚMEROS DAS PROPOSTAS
<p>A - Indicadas para aeronaves e aeroportos de médio e grande porte nas regiões com muitas edificações e densamente povoadas. Necessitam de desenvolvimento de nanossatélites, aeronaves maiores e providas de aviônica moderna, estruturas mais elaboradas de auxílios à navegação, estações de radiodifusão e de celulares próximas ao aeroporto, antenas para captação de sinais GPS e central para processamento de dados.</p>	<p>P5 – P7 P10 – P13 P14 - P15</p>
<p>B - Indicadas para aeronaves e aeroportos de pequeno porte nas regiões com poucas edificações e pequena população, considerando também as emergências. Necessitam de desenvolvimento de nanossatélites, aviônica e sistema de processamento básico, instalação de antenas infláveis e <i>pseudolites</i> ativos e passivos.</p>	<p>P7 - P11 P12 - P14</p>

Serão realizados novamente todos os passos necessários para o emprego do AHP, considerando os mesmos critérios da Tabela 5.48.

Etapa 1A: Construção da hierarquia de decisão.

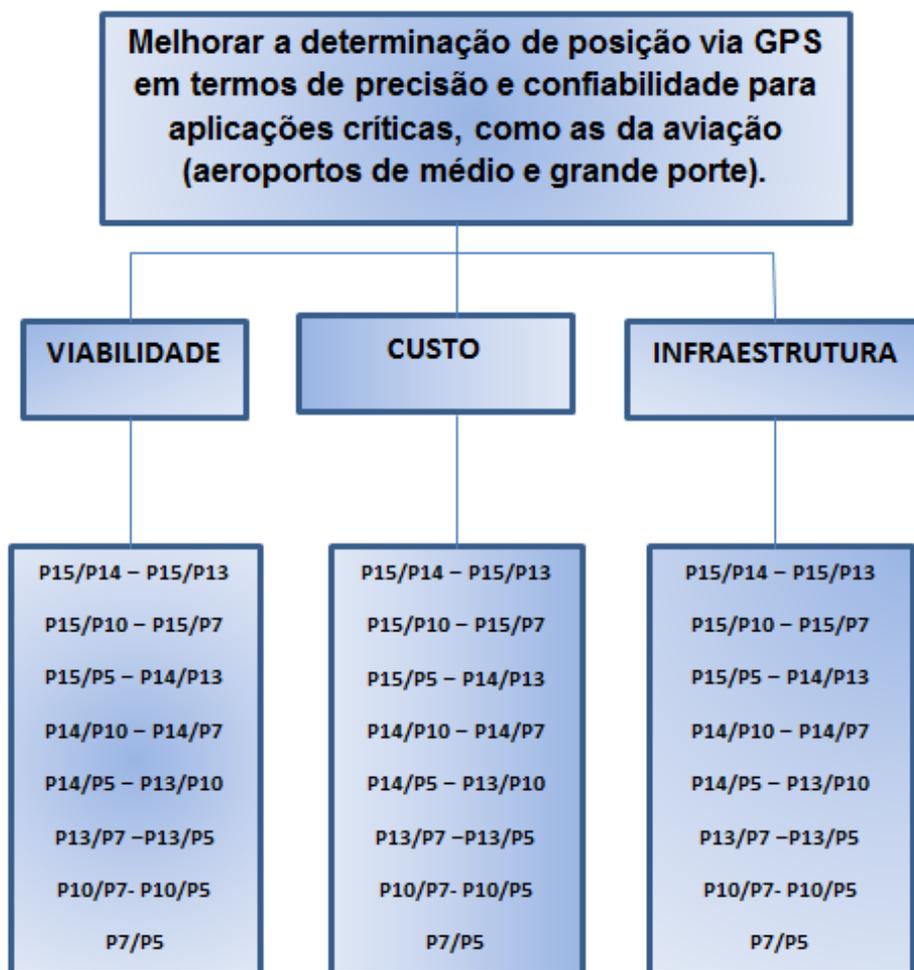


Figura 5.16 – Hierarquia de decisão para solução final (AHP- Caso A)

Etapa 2A: Comparação entre os elementos da hierarquia.

	VIAB	CUSTO	INFRA
VIAB	1	3	7
CUSTO	1/3	1	2
INFRA	1/7	1/2	1
	1 10/21	4 1/2	10

	VIAB	CUSTO	INFRA	PRIORIDADE RELATIVA
VIAB	21/31	2/3	7/10	0,6814
CUSTO	7/31	2/9	1/5	0,2160
INFRA	3/31	1/9	1/10	0,1026

Observação: As etapas 3 e 4 são semelhantes às dos casos anteriores, já que os pesos atribuídos a cada critério permaneceram inalterados.

Etapla 5A: Construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada par de alternativas possível (solução/redundância)

VIAB	P15/14	P15/13	P15/10	P15/7	P15/5	P14/13	P14/10	P14/7	P14/5	P13/10	P13/7	P13/5	P10/7	P10/5	P7/5
P15/14	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P15/13	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P15/10	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P15/7	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P15/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P14/13	3	3	3	5	5	1	1	3	5	3	3	5	3	3	5
P14/10	3	3	3	5	5	1	1	3	5	3	3	5	3	3	5
P14/7	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P14/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P13/10	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P13/7	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P13/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P10/7	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P10/5	1	1	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1	3	1	1	3
P7/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1

CUSTO	P15/14	P15/13	P15/10	P15/7	P15/5	P14/13	P14/10	P14/7	P14/5	P13/10	P13/7	P13/5	P10/7	P10/5	P7/5
P15/14	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P15/13	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P15/10	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P15/7	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P15/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3
P14/13	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3
P14/10	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P14/7	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P14/5	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P13/10	3	3	3	3	5	5	3	3	3	1	1	3	1	1	3
P13/7	3	3	3	3	5	5	3	3	3	1	1	3	1	1	3
P13/5	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1
P10/7	3	3	3	3	5	5	3	3	3	1	1	3	1	1	3
P10/5	3	3	3	3	5	5	3	3	3	1	1	3	1	1	3
P7/5	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1

INFRA	P15/14	P15/13	P15/10	P15/7	P15/5	P14/13	P14/10	P14/7	P14/5	P13/10	P13/7	P13/5	P10/7	P10/5	P7/5
P15/14	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P15/13	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3
P15/10	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P15/7	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3
P15/5	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3
P14/13	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P14/10	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P14/7	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P14/5	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P13/10	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P13/7	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P13/5	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3
P10/7	3	5	3	5	5	3	3	3	3	3	3	5	1	3	3
P10/5	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1/3	1	3
P7/5	1/3	3	1/3	3	3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1

Etapa 6A: Obter a prioridade composta para as alternativas

Matriz de propostas x matriz prioridade relativa = matriz de prioridades

1,5778	1,0889	1,6222	X	0,6814	=	0,4922	P15/P14
1,5778	1,0889	0,5022				0,4539	P15/P13
1,5778	1,0889	1,6222				0,4922	P15/P10
0,5378	0,9556	0,5022				0,2081	P15/P7
0,5378	0,4311	0,5022				0,1704	P15/P5
3,4000	0,3867	1,6222				0,8555	P14/P13
3,4000	1,0889	1,6222				0,9061	P14/P10
1,5778	1,0889	1,6222				0,4922	P14/P7
0,5378	1,0889	1,6222				0,2560	P14/P5
1,5778	2,7333	1,6222				0,6107	P13/P10
1,5778	2,7333	1,6222				0,6107	P13/P7
0,5378	1,0889	0,5022				0,2177	P13/P5
1,5778	2,7333	3,4000				0,6715	P10/P7
1,5778	2,7333	1,6222				0,6107	P10/P5
0,5378	1,0889	1,0889				0,2378	P7/P5

Etapa 1B: Construção da hierarquia de decisão.

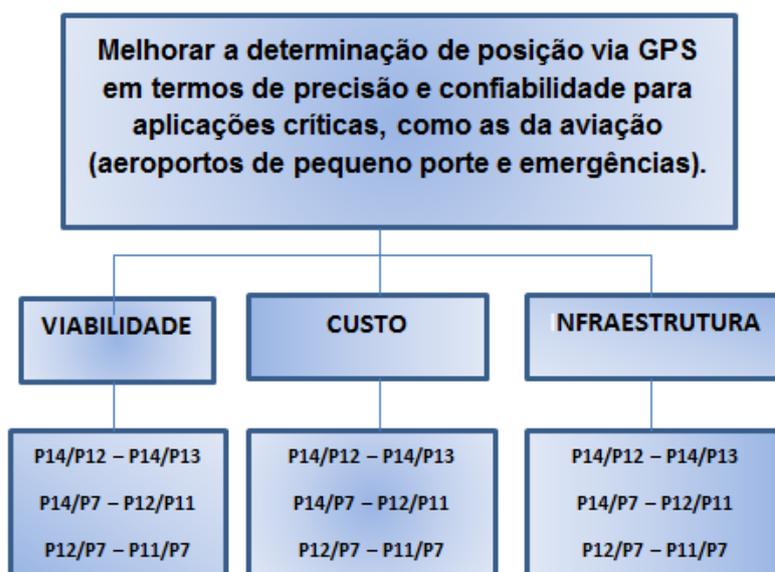


Figura 5.17 – Hierarquia de decisão para solução final (AHP- Caso B)

Etapa 2B: Comparação entre os elementos da hierarquia.

	VIAB	CUSTO	INFRA
VIAB	1	3	7
CUSTO	1/3	1	2
INFRA	1/7	1/2	1
	1 10/21	4 1/2	10

	VIAB	CUSTO	INFRA	PRIORIDADE RELATIVA
VIAB	21/31	2/3	7/10	0,6814
CUSTO	7/31	2/9	1/5	0,2160
INFRA	3/31	1/9	1/10	0,1026

Observação: As etapas 3 e 4 também são semelhantes aos casos anteriores, já que os pesos atribuídos a cada critério permaneceram inalterados.

Etapa 5B: Construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada par de alternativas possível (solução/redundância)

VIAB	P14/P12	P14/P11	P14/P7	P12/P11	P12/P7	P11/P7
P14/P12	1	3	3	5	3	5
P14/P11	1/3	1	1	3	1	3
P14/P7	1/3	1	1	3	1	3
P12/P11	1/5	1/3	1/3	1	1/3	1
P12/P7	1/3	1	1	3	1	3
P11/P7	1/5	1/3	1/3	1	1/3	1

CUSTO	P14/P12	P14/P11	P14/P7	P12/P11	P12/P7	P11/P7
P14/P12	1	1	1/3	1	1/3	1/3
P14/P11	1	1	1/3	1	1/3	1/3
P14/P7	3	3	1	3	1	1
P12/P11	1	1	1/3	1	1/3	1/3
P12/P7	3	3	1	3	1	1
P11/P7	3	3	1	3	1	1

INFRA	P14/P12	P14/P11	P14/P7	P12/P11	P12/P7	P11/P7
P14/P12	1	1/3	1/3	1	1	1/3
P14/P11	3	1	1	3	3	1
P14/P7	3	1	1	3	3	1
P12/P11	1	1/3	1/3	1	1	1/3
P12/P7	1	1/3	1/3	1	1	1/3
P11/P7	3	1	1	3	3	1

Etapa 6B: Obter a prioridade composta para as alternativas

Matriz de propostas x matriz prioridade relativa = matriz de prioridades

3,3333	0,6667	0,6667	×	0,6814	=	0,8279	P14/P12
1,5556	0,6667	2,0000		0,2160		0,4697	P14/P11
1,5556	2,0000	2,0000		0,1026		0,5657	P14/P7
0,5333	0,6667	0,6667				0,1919	P12/P11
1,5556	2,0000	0,6667				0,5201	P12/P7
0,5333	2,0000	2,0000				0,3336	P11/P7

PASSO 7 – Verificar o conceito de solução.

Verifica-se, pelos resultados da AHP, que a solução principal indicada para o caso do GPS é a utilização de nanossatélites, tanto para aeroportos de médio e grande porte (0,9061), quanto para os de pequeno porte (0,8279). As soluções complementares é que variaram, sendo seleccionadas a utilização de inercial/altímetro e *pseudolites* ativos/passivos respectivamente.

Tabela 5.50 – Propostas (seleção final/GPS).

RESULTADO FINAL DE PROPOSTAS	PROPOSTAS
A - Indicadas para aeroportos de médio e grande porte.	P14 - Uso de nanossatélites para fornecer dados de posição, praticamente livres de efeitos ionosféricos. P10 - Uso de sistema inercial e da determinação da altitude das aeronaves para complementar os dados de posição, auxiliando o GPS.
B - Indicadas para aeroportos de pequeno porte e emergências.	P14 - Uso de nanossatélites para fornecer dados de posição, praticamente livres de efeitos ionosféricos. P12 - Implementar um sistema diferencial de GPS com <i>pseudolites</i> ativos e/ou passivos.

A seguir, as soluções serão descritas de acordo com a revisão da literatura e as aplicações dos métodos da TRIZ, matriz de Pugh e AHP. A sequência de apresentação das propostas será de acordo com a prioridade das mesmas.

P14 - Nanossatélites

Os *cubesats*, um dos diversos tipos de nanossatélites, se tornaram um instrumento relativamente barato e rápido para coletar dados espaciais e são usados para diversas finalidades. O INPE está desenvolvendo estudos com o objetivo de garantir a continuidade do SBCDA por meio de uma constelação de nanossatélites. Este sistema, o CONASAT, deve possibilitar a ampliação da capacidade do serviço de coleta de dados ambientais para o SBCDA e desenvolver uma missão espacial de baixo custo, sendo que a previsão do lançamento do primeiro satélite da constelação é para o ano de 2016. Com baixo custo e uma quantidade alta de nanossatélites nesta função, estes podem realizar a repetição de sinal com transposição de frequência, seja com o uso do sinal GPS para sincronismo de relógio do nanossatélite ou geração de um outro sinal

análogo com um código livre diferente para cada nanossatélite. Se os nanossatélites tivessem múltipla função como apoio a PCDs, navegação e outras aplicações locais, sua relação custo/benefício melhoraria muito. Em princípio, os nanossatélites estariam a altitudes acima de 300 km, para que seu tempo de decaimento orbital seja compatível com a vida útil de pouco mais de um ano de seus equipamentos; desta forma, estarão acima da altitude de máximo TEC da ionosfera para situações normais, sem picos de atividade solar. Transmitirão sua posição, seja esta obtida por rastreio ou diretamente por GPS; operando acima de 7250 MHz estão praticamente livres de efeito ionosférico. A elevação média de observação dos nanossatélites é função de seu número (quantidade) e altura da órbita; mas devido ao baixo custo dos nanossatélites pode ser maior que a elevação de observação dos satélites do GPS. O projeto das antenas dos nanossatélites pode garantir que nenhuma aeronave os observe em elevações muito baixas, caso estas elevações comprometam a determinação de posição, seja por efeitos ionosféricos ou por outro fator. Com custos totais de 65000 a 80000 dólares, pode-se lançar uma constelação de nanossatélites equatoriais e de órbitas de baixa inclinação. Com seis satélites no equador, um receptor equatorial captaria o sinal de, pelo menos, um nanossatélite equatorial com elevação acima de 56°. Com um total de 24 satélites em três planos, a custos abaixo de dois milhões de dólares, pode-se garantir uma melhoria com, no mínimo, quatro satélites com ângulo de visada acima de 56° de elevação. Pode-se ainda usar satélites do GNSS, não livres de efeito ionosféricos, para aumentar a base de informação.

P10 – Inercial / Altímetro

A qualidade de determinação de posição de aeronaves pode ser melhorada complementando-se as informações do GNSS com sistemas inerciais (giroscópios e acelerômetros) e radioaltímetro. O EGPWS (EGPWS/TAWS - *Enhanced Ground Proximity Warning System/Terrain*

Avoidance and Warning System) ou Sistema Melhorado de Alerta de Proximidade ao Solo usa informações como a atual posição da aeronave, velocidade, proa, e uma base de dados do terreno sobrevoado, computando todas essas informações e gerando uma trajetória. Se a rota não for segura, os pilotos são alertados sobre a proximidade da aeronave ao solo, visual e auditivamente, de acordo com as configurações programadas de voo. No início (*GPWS- Ground Proximity Warning System*), o sistema somente monitorava a distância da aeronave ao solo, por indicações do radioaltímetro; enquanto um computador fazia o controle e análise dos dados, a tendência da aeronave era um dos itens principais da análise. O GPWS mostrou-se inadequado para aviões militares rápidos, a alta velocidade e baixa altitude. Assim, foi necessário melhorar o sistema, acrescentando ao radar altimétrico um sistema de navegação inercial, GPS e sistema de controle de voo. Com o desenvolvimento do GPS, incluiu-se nos computadores de bordo dados geográficos da superfície terrestre. O GPWS melhorado passou a fornecer indicações aos pilotos sobre o terreno que têm à sua frente, permitindo a estes que tomem ações prévias. Isso permitiu, por exemplo, que uma aeronave evitasse uma colisão com uma montanha em um mau tempo. Porém, para a proposta de solução pode-se novamente inserir um altímetro neste sistema, a fim de que as informações possam ser confirmadas, principalmente em emergências. O sistema poderá aproveitar principalmente o radioaltímetro e altímetro a laser das aeronaves, ou ter um altímetro de audiodfrequência. O radioaltímetro e áudio altímetro realizam medições, transmitindo pulsos ou sinais modulados e recebendo o sinal de retorno. Os radioaltímetros modernos são, em sua maioria, do tipo de emissão de pulso, sendo a altitude calculada pela medição do tempo necessário para o pulso atingir a terra e retornar à aeronave. Discrepâncias entre a posição estimada da aeronave e dados deste instrumento indicam erros do GPS e, neste caso, softwares de estimativa de posição provêm

correções. Em especial, no caso de marcadores naturais (ravinas, fendas, declives e outros) o ajuste da posição poderá ser feito mais facilmente, pois o solo é plano no nível da cabeceira da pista. Sendo o radioaltímetro tanto mais preciso quanto mais próximo estiver o solo, tem-se a posição vertical com erro abaixo de um metro na fase final de pouso, ou seja, uma precisão vertical melhor que a do GPS. A ideia básica desta solução é usar altímetros precisos para obter informações seguras de altitude para pousos em geral, sejam em aeroportos ou locais remotos, em edificações (com helicópteros), áreas de fazenda adequadas a pousos de emergência e afins. Com a informação de altitude precisa pode-se compensar relativamente bem os efeitos do TEC, considerando que os dados de altura passem a ter uma precisão mais adequada às exigências de pouso. Há também os altímetros a laser, cujo princípio de funcionamento consiste na emissão de feixe laser em direção à superfície terrestre, onde estes são refletidos pelos obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e captados pelo sensor. Para cada feixe emitido é registrado o tempo de percurso (aeronave – obstáculo – aeronave) permitindo ao sistema realizar o cálculo da distância. Utilizando o GPS e o inercial, que registram a posição e a atitude (rotações) da aeronave durante o voo, é possível definir a posição tridimensional de pontos na superfície numa fase de pós-processamento. Finalmente, o altímetro pode utilizar o sinal de frequência de áudio aproveitando o som do motor da aeronave ou outro som produzido por algum dispositivo instalado na aeronave para determinação da altura ao solo em imediações de cabeceiras de pista.

P12 – *Pseudolites* ativos e passivos

Pseudolites ativos ou passivos (de antenas infláveis ou convencionais) são referências de posição que transmitem, retransmitem ou refletem sinais compatíveis com sinais do GPS. *Pseudolites* ativos longe da pista, tendem a não ter problemas de saturação, nível de sinal insuficiente com

a variação da distância ou *near far problem* (reduzido pelas antenas direcionais). A ideia de pseudolites também pode ser implementada com satélites, em especial nanosatélites, operando de 7250 a 7375 MHz. Os *pseudolites* passivos poderão ser itens metálicos, com uma área mínima, situados próximos à pista, a fim de que os sinais GPS refletidos de modo difuso sejam aproveitados para indicação de posição. O software de bordo identifica os *pseudolites* passivos ou ativos, seja por identificação de códigos específicos de *pseudolites* ativos, ou a partir de sua posição aproximada por GPS e diferenças de fase entre os sinais dos *pseudolites*. Por diferença de fase de código entre os sinais dos *pseudolites*, a aeronave estima sua posição livre de efeitos ionosféricos. Tem-se, eventualmente, um quinto *pseudolite* passivo para melhorar o processo. Por diferenças de fase de códigos, múltiplos correlatores do receptor podem distinguir o sinal direto do GPS dos refletidos. No caso da aeronave retransmitir um sinal do GPS, pode-se ter controle de nível de sinal e a detecção de todos os ecos importantes sem qualquer problema de sinal insuficiente ou saturação, pois a transposição de frequência facilita a identificação dos ecos.

P14/P10/P12 - Sistema completo

O sistema completo, a ser exposto nesta etapa, deverá operar principalmente nas regiões equatoriais, complementando os sinais do GPS, a fim de minimizar ou eliminar os efeitos negativos da ionosfera. Este sistema deverá ter como foco a aviação em regiões urbanas ou remotas, atendendo pequenos, médios e grandes aeroportos, assim como heliportos, helipontos e pistas de pouso e decolagem. Assim, este sistema geral, doravante denominado **GPSE (GPS System Support for Equatorial Regions)**, terá três subsistemas, um deles baseado em nanosatélites, o segundo em equipamentos de aeronaves e o terceiro

em equipamentos de solo. Assim, o GPSEER realizará a sua operação do seguinte modo:

- a) **Subsistema GERAL (nanossatélites).** Os nanossatélites captarão os sinais do GPS e os retransmitirão em três frequências da banda de 7250-7375 MHz. As aeronaves deverão ter circuitos receptores do GPS adaptados para a recepção destas frequências. Quando a aeronave trafegar fora da cobertura do GPSEER, fará uso do GPS. O GPSEER será operado com todas as informações e efemérides do padrão GPS. No território nacional, os sinais retransmitidos por nanossatélites servirão com base para se determinar a posição e realizar pousos e decolagens seguros.

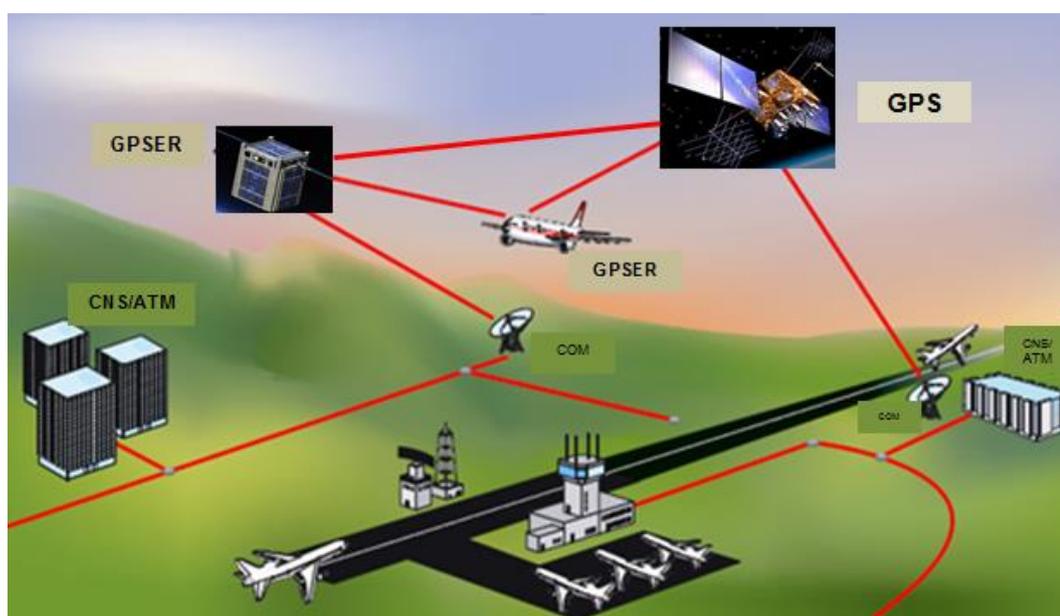


Figura 5.18 – Operação completa do GPSEER.

Fonte: Adaptado de *El Rincon del Vago* (2005)

b) **Subsistemas ESPECÍFICOS (inercial, altímetro e *pseudolites*).**

Nos aeroportos de médio e grande porte, geralmente situados em regiões com muitas edificações e densamente povoadas, o apoio de equipamentos da aeronave é fundamental, principalmente a precisão da distância ao solo. Para isto, o sistema deverá aproveitar o inercial, EGPWS, radioaltímetros ou altímetros a laser já existentes e realizar a sua integração ao GPSEER.

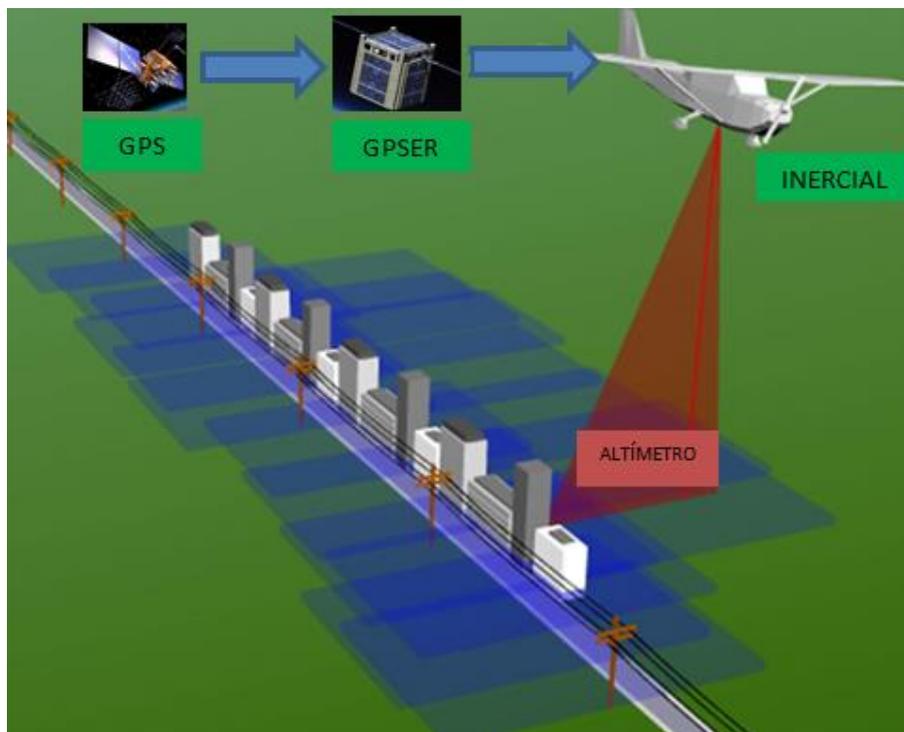


Figura 5.19 - Sistema inercial/altímetro do GPSEER

Fonte: Adaptado de Dron. Eng. (2014)

Próximo aos aeroportos de pequeno porte, as edificações são em número reduzido, há menor densidade populacional e as aeronaves não possuem muitos recursos tecnológicos. Os *pseudolites* ativos e passivos deverão ser instalados próximos a estes aeroportos (heliportos ou helipontos) e complementarão

dados de posição com sinais no padrão do GPS; estes serão diretos dos *pseudolites* ativos ou indiretos, por reflexão dos *pseudolites* passivos. Os *pseudolites* passivos terão um papel fundamental na precisão horizontal, principalmente devido às emergências, realizando a função do EGWS e altímetros. Para aumentar a segurança nestes casos, o GPSEER disponibilizará um radioaltímetro especial, cujo princípio de funcionamento será baseado no eco do som produzido pela aeronave, principalmente motores, gerando economia de recursos e maior segurança.

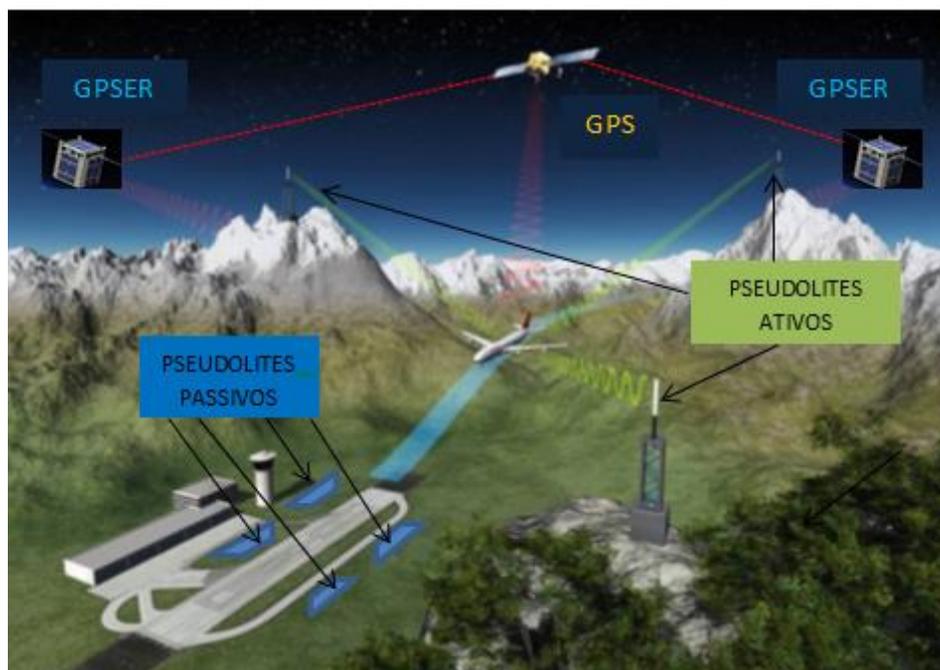


Figura 5.20 – Operação dos *pseudolites* do GPSEER.

Fonte: Adaptado de GNSS *Technology* (2015)

Tendo como base as figuras anteriores, o sistema proposto (GPSEER) deverá operar da seguinte forma:

- a) Uma aeronave ou outro sistema móvel qualquer navegará normalmente pelo GPSEER no território nacional ou outros países da região equatorial, baseado em nanossatélites, equipamentos da

aeronave (inercial e altímetro) e apoio de solo (*pseudolites* ativos e passivos). O GPS funcionará apenas como um sistema complementar nas regiões onde não for autorizada ou não houver cobertura GPSE. Vale ressaltar que os feixes de retransmissão de sinais do GPS de satélites geoestacionários, alimentados por terminais de VSAT (*Very Small Aperture Terminal*), deverão cobrir apenas o território brasileiro ou de países que concordarem com a operação do sistema GPSE em seu território.

- b)** Para efeito de segurança, somente as empresas de aviação e pilotos possuirão acesso ao sistema.
- c)** Dependendo dos cenários expostos (grandes, médios, pequenos aeroportos e emergências), o sistema GERAL será complementado por um subsistema ESPECÍFICO diferente.

7.1 Verificar do conceito quanto a execução funcional.

7.2 a) A solução atende ao requisito principal IFR1, conforme PASSO 3.1?

R – Ressaltando que o requisito principal é: “ Os sistemas ou princípios complementares, sem complicar o GPS e sem efeitos nocivos indesejáveis, devem manter a disponibilidade de sinais de alta estabilidade de relógio, códigos e frequências adequados, provenientes de uma posição conhecida e facilmente associados a esta posição sem qualquer bloqueio de visada ou desvio de percurso de qualquer natureza entre a aeronave e a fonte de sinal (atualmente, a efeméride do satélite); e eliminar os efeitos da interferência ionosférica no cálculo da posição da aeronave durante o período entre a decolagem e pouso da aeronave em voo sobre regiões com qualquer tipo de relevo e altitude inferior a 53000 pés (OZ) ”.

O problema em questão é complexo e já há uma base muito grande de usuários do GPS nas atuais frequências que impedem o uso exclusivo da banda de 7250-7375 MHz. Os países detentores de sistemas GNSS têm receios quanto à segurança com a redução do erro do GPS, e assim não se pode encontrar nenhuma solução que não lançasse mão de recursos adicionais e, ao fazer isto, complicasse o sistema. O uso de *pseudolites* ativos ou passivos no solo pode, de fato, resolver o problema de precisão, tanto no caso de refletores de sinais retransmitidos pela aeronave, como *pseudolites* ativos colocados em posições estratégicas com antenas de direcionalidade otimizada. Os *pseudolites* ativos têm toda a tecnologia sedimentada, mas necessitam de infraestrutura; os passivos não precisam de infraestrutura de energia, mas que sejam desenvolvidos os aplicativos computacionais necessários à sua implementação. O uso de nanossatélites, como fontes de sinais similares ao do GPS na banda de 7250-7375 MHz, têm toda a tecnologia já desenvolvida (é um caso de engenharia combinatória). O aumento da frequência para esta banda, ainda livre de atenuação pela umidade ou água, oferece (no caso de navegação por trilateração) erros da ordem de 3 % dos erros atuais de sistemas em cada uma de suas bandas individuais. Com o uso de três sub-bandas, pode-se fazer correções de posição baseadas no fato do erro ser proporcional ao inverso do quadrado da frequência, no caso de validade da hipótese de TEC comum. Há, ainda, a possibilidade de verificar esta hipótese (TEC comum) e delimitar o erro, algo não possível nos sistemas baseados em dupla frequência, que operam com as bandas L_1 e L_2 do GPS. VSATs de banda C poderão alimentar satélites geoestacionários com o sinal do GPSE, e os nanossatélites captarem o sinal retransmitido pelo canal de retorno destes VSAT, iluminando somente a área de cobertura do sistema VSAT com um sinal adequado. O GPS poderia ser usado para controlar o tempo na geração na base VSAT do sinal do GPSE. O Brasil tem um sistema de VSAT já implementado com boa disponibilidade de canais livres. Isto eliminaria a

disponibilidade do GPSEER fora do território brasileiro. Resumindo, um sistema similar ao GPS operando em maior frequência terá efeitos de ionosfera bem menores e praticamente desprezíveis, mas toda a infraestrutura espacial e de Terra do GPS deveria ser trocada ou complementada com algo para disponibilizar mais frequências. Devido ao uso disseminado do GPS, faz-se necessário enviar sinais à rede de aparelhos GPS de uso geral que já operam atualmente na banda L. O uso de nanossatélites na faixa de frequência de 7250-7375 MHz, com *downlink* de três cópias do L₂ em diferentes frequências, atende ao requisito principal. O sinal continuará passando pela ionosfera, mas o erro seria totalmente compatível com os melhores equipamentos de auxílio à navegação, como o ILS CAT III. A precisão vertical será complementada pelos instrumentos da aeronave, considerando os sistemas inerciais e altímetros (radioaltímetros e altímetros a laser), ou *pseudolites* ativos e passivos, conforme o tipo de local de pouso

7.2.b) Qual a contradição física que foi resolvida?

R- O resumo da contradição mais relevante deve ser: “ O sinal tem de passar pela ionosfera para que, saindo do satélite, chegue à aeronave, mas não pode passar por algumas partes da ionosfera para que as mesmas não introduzam erro no cálculo da posição”. O uso de nanossatélites não resolve a contradição básica do sinal atravessar a ionosfera entre a referência de posição e a aeronave, ou seja, o sistema proposto não elimina a interferência da ionosfera no cálculo da posição da aeronave, mas a ameniza. A constelação de nanossatélites deve abranger todo o território de interesse, porém os seus sinais ainda terão a necessidade de passar pela ionosfera, mas ao fazê-lo em frequência mais altas e eventualmente devido ao número de satélites com maiores elevações de visada, o problema é minimizado. No caso de adição de altímetro de precisão e sistema inercial, complementa-se os dados do GPS com o uso de mais recursos, e

somente se ataca a contradição na opção de tentativa de estimar TEC e posição com algum filtro dedicado. Se estes sistemas forem muito precisos podem, para voos curtos, dispensar o GPS. No caso de *pseudolites* que não os nanossatélites, elimina-se a contradição mudando a referência de posição do satélite GPS para algum ponto do solo, troposfera ou estratosfera, embora o sinal ainda cruze a ionosfera, mas se usam mais recursos. Os *pseudolites* usam a infraestrutura de relógio e sinal do GPS para gerar seus sinais, ou retransmitem este sinal do GPS. *Pseudolites* passivos refletem o próprio sinal do GPS ou uma retransmissão deste feita pela aeronave, preferivelmente em outra frequência; esta retransmissão permite o controle do nível do sinal, evitando dificuldades de detecção com a variação da distância do refletor à aeronave. Os *pseudolites* ativos precisam estar em posições adequadas e, eventualmente, contar com direcionalidade de suas antenas para evitar este mesmo problema. Há dificuldades devido ao fato dos recursos do sistema terem sido muito explorados na concepção do GPS, mas há uma definição inadequada da banda, conforme comentários anteriores.

7.2.c) Tem o novo sistema ao menos um elemento controlável e, em caso afirmativo, quais são seus elementos controláveis e como estes elementos são controlados?

R- Os problemas da ionosfera não são passíveis de controle e, como definido no PASSO 1.2 (Figuras 5.2 e 5.3), os elementos controláveis são a transmissão, recepção, processamento, além da posição de retransmissores e refletores. Os sistemas de acréscimo tendem a ter iteração insuficiente por controlarem somente parâmetros prévios relativos à distância entre as estações de controle e tempo de processamento, os quais não são ligados diretamente, nem à ferramenta (satélite GPS) e nem ao produto (aeronave). Nos nanossatélites fez-se a opção de alterar a frequência de transmissão do sinal de modo a minimizar a interferência ionosférica e a atenuação por água ou umidade.

Com o uso de três sinais como complemento, não somente se faz uma correção com base na proporcionalidade do erro com o inverso do quadrado da frequência, como se avalia a veracidade da hipótese de TEC comum, delimitando-se o erro da correção. Não há controle durante a operação, mas a escolha de parâmetros pode garantir erros baixos, compatíveis com o uso desejado. Há a opção de uso para melhoria de dados de posição ou de sistemas de *pseudolite* ou altímetros de precisão (radioaltímetro, altímetro a laser ou áudio altímetro). Este último pode utilizar o som do motor, alto-falante, ou ruídos aerodinâmicos e piezoelétricos como fonte de som modulado. Isto porque a altura é um parâmetro crítico e toques muito suaves aumentam a exposição da aeronave a cortantes de vento e toques pouco suaves põem em risco o trem de pouso, se a manobra for iniciada muito alta. O sistema de *pseudolite* passivo tem como elemento controlável o nível de sinal do transmissor da aeronave e a distância relativa entre os alvos; ao desdobrar o sistema, troca-se a ferramenta, que deixa de ser o satélite e passa a ser o alvo refletor de solo, podendo o sistema ter ainda como elemento extra o retransmissor da aeronave. O *pseudolite* ativo atua de modo similar, mas ao não controlar o sinal pode ter problemas de saturação ou falta de sinal com variação de distância, algo que poderia ser contornado com itens de controle na recepção, como atenuadores controláveis de sinal ou troca de circuito de amplificação de baixo ruído, que pode usar a posição aproximada obtida diretamente com o GPS para controle destes fatores.

7.2.d) Como a solução desenvolvida para um ciclo de operações pré-definidos se comporta em condições de operações reais mais abrangentes?

R- Os sistemas com nanossatélites de banda alta podem facilitar pousos de emergência e baixar os riscos dos mesmos. O uso de

frequências maiores pode permitir precisões relativamente seguras para pousos de emergência sem visibilidade em áreas impróprias (arrozais, corpos d'água e outras). Os sistemas das aeronaves mostraram (há anos) sua eficiência em uso aeronáutico e há apenas a necessidade de integrá-los ao sistema proposto, com as devidas atualizações. Os sistemas de *pseudolites* passivos precisariam do conhecimento e identificação de algum marcador no solo. Finalmente, os sistemas de nanossatélites e o sistema de retransmissão de sinal por parte da aeronave e *pseudolites* passivos, podem ser usados para mapear o local de pouso em boas condições de visibilidade, fazendo uso destes mapas para melhorar a segurança em condições menos favoráveis.

PASSO 8 – Aplicações da solução encontrada.

O objetivo do passo 8 é maximizar o uso dos recursos descobertos / obtidos pelo conceito de solução.

8.1- Estimativas de mudanças no super-sistema.

Com a utilização das soluções propostas ocorrerão as seguintes alterações no meio:

- a) nanossatélites: a frequência de operação destes satélites se altera para 7250 a 7375 MHz (*dowlink*) e 7900 a 8025 (*uplink*) em relação à operação do GPS ($L_1 = 1575,42$ MHz e $L_2 = 1227,60$ MHz);
- b) altímetro: possibilidade de utilização de altímetros de menor custo, por audiofrequência, em comparação aos radioaltímetros e altímetros a laser; e
- c) *pseudolite* passivo: alteração do referencial de posição do satélite para o solo e da fonte do sinal, do satélite para a aeronave.

8.2 – Busca de outras aplicações para a solução obtida.

Esta solução (P14) poderia ser ainda utilizada, com as devidas alterações, para efetuar monitoramento ou determinação da posição (órbita) de veículos lançadores de satélites (ou foguetes científicos de sondagem), naves tripuladas (tipo *Shuttle*) e satélites (incluindo transferências de órbitas). A medida de órbita e atitude, via GPS, possui apenas camadas altas menos densas e menos sujeita aos efeitos de ionosfera. Pode também melhorar os sistemas de teodolitos e mapeamentos, que precisarão de menor tempo de coleta de dados e antenas menores. As pesquisas quanto ao comportamento da ionosfera para outros fins, área em que o INPE tem atuação, pode fazer uso de informações do erro de posição das aeronaves para avaliação de TEC, independentemente deste erro de posição ser obtido por GPS e nanossatélite, altímetro e sistema inercial, e sistemas de radiodifusão e de telefonia celular. A base de informação gerada pelas aeronaves equipadas para operarem com os sistemas propostos poderia ser utilizada em apoio a aeronaves sem equipamento compatível com o mesmo. Esta base tanto pode ajudar a modelar bolhas e a ionosfera, como garantir informações mínimas de interpolação, em especial perto do aeroporto de destino, se este tiver um movimento mínimo. A visualização destes dados poderá ser facilitada pelas informações contidas no visor, com os alertas necessários, assim como ocorre no radar meteorológico. Para facilitar a iteração homem-máquina, a tela do mesmo será similar à da Figura 5. 21.

Baseado nas ideias geradas em propostas que não fizeram parte da solução final, há a possibilidade de instalar um centro de gerenciamento do TEC, bolhas ionosféricas e cintilações nos aeroportos de maior tráfego, principalmente nos internacionais.

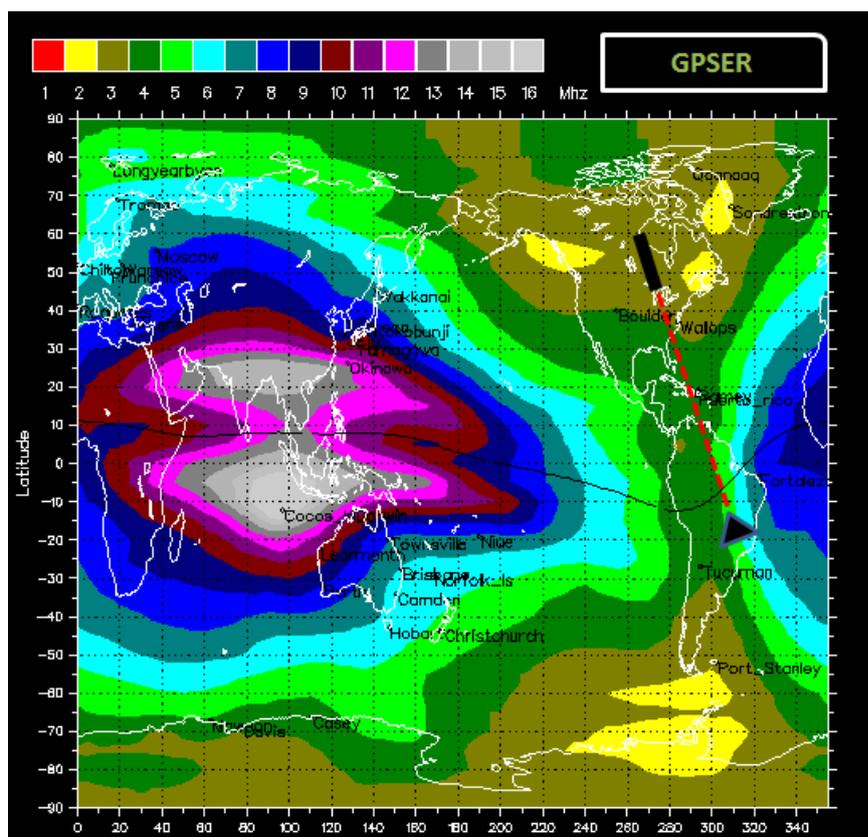


Figura 5.21 – Instrumento do GPSER na aeronave

Fonte: Adaptado de *Starviewerteam* (2012)

Em futuras versões do GPSER pode-se considerar sistemas como os propostos ou outros, que obtenham informações destes fenômenos físicos e as transformem em dados visuais, apresentando-as em instrumentos de aeronaves, microcomputadores ou telas específicas. As torres ou órgãos de controle do espaço aéreo e profissionais da área de aviação teriam acesso às informações para orientar os procedimentos das aeronaves. Há a possibilidade das instituições de aviação realizarem parcerias com institutos de pesquisas da ionosfera, como o INPE, para o monitoramento dos fenômenos citados. As telas de monitoramento citadas, em ambientes específicos, seriam semelhantes às ilustradas na Figura 5.22.



Figura 5.22 – Telas do GPSEER para os profissionais da aviação no solo

Fonte: Adaptado de INPE (2015)

Os conceitos da presente solução poderiam ser utilizados, como já mencionado e com algumas adaptações, para outros sistemas de localização, como o das PCDs desenvolvidas pelo INPE, que é o próximo objetivo da presente dissertação.

PASSO 9 – Análise do processo de solução completo.

Todo o processo criativo tem de produzir, além da solução, um aumento da criatividade das pessoas envolvidas nele.

9.1 – Comparação do processo usado com o processo teórico completo (matriz de contradição e campo/substância). Comentário das diferenças (se existirem) e como elas podem ter ajudado ou dificultado o processo.

R- Conforme a teoria, a matriz de Pugh foi utilizada em uma primeira rodada para analisar as propostas iniciais de soluções, baseadas

nos estudos e práticas já adotadas para tentar solucionar o problema ou melhor entendê-lo. Das cinco propostas iniciais, duas obtiveram conceitos negativos na primeira aplicação. Neste ponto, fez-se uma análise de TRIZ considerando (par a par) as soluções iniciais com os conceitos positivo e nulos. Todos os princípios de engenharia resultantes da TRIZ foram detalhados e surgiram mais seis soluções. Para não tornar o processo muito complexo, mais cinco soluções foram submetidas à matriz de Pugh, sendo que três obtiveram conceitos negativos. Nesta etapa, de dez propostas de soluções (cinco iniciais e seis pela TRIZ), cinco foram consideradas mais viáveis quanto aos critérios propostos. Verificou-se, prosseguindo com a TRIZ, a existência de mais quatro soluções; fez-se mais uma rodada da matriz de Pugh com as últimas cinco propostas da TRIZ e uma proposta obteve conceito negativo. Assim, dos quinze conceitos que surgiram, nove foram selecionados pela matriz de Pugh. Para explorar melhor o espaço de soluções fez-se uso da TRIZ em um problema mais geral, com os parâmetros mais relevantes, sem considerar as propostas. Houve indicação de mais quatro princípios de engenharia, que não deram origem a novas soluções, mas sugeriam a adoção das soluções anteriores. Assim, considerou-se que a TRIZ foi eficaz, por triplicar o total de opções de solução do problema em relação à condição inicial. No processo estatístico de referências às propostas de soluções pela TRIZ (matriz de contradição/campo e substância), oito propostas selecionadas ficaram acima de um ponto de corte mínimo. Considerando a interseção das seleções da matriz de Pugh e TRIZ obteve-se onze propostas finais. Como o total de opções encontrado foi alto, decidiu-se aplicar outro método multicritério às soluções de melhor pontuação, adaptando os mesmos critérios de avaliação usados no processo de matriz de Pugh. Para tal utilizou-se o AHP por este método ser pouco subjetivo e forçar a hierarquização das soluções. Na primeira rodada de AHP reduziu-se de onze para oito o número de opções. Em uma segunda rodada utilizou-se também soluções (par a par), com uma proposta

principal e outra complementar. Selecionaram-se as três soluções mais pontuadas pelo AHP, devido à contextualização das soluções para dois cenários específicos, considerando fatores como tipo de aeroporto (ou local de pouso e decolagem), região e infraestrutura. As soluções apontadas por um princípio de engenharia não foram sugeridas todas num só momento e princípios complementares ajudaram a detalhá-las, chamando a atenção para aspectos não notados na análise das sugestões sem estes princípios adicionais. Considerando que estes métodos possuem limitações e geralmente não encontram soluções exatas, perfeitas e definitivas, a maior desvantagem verificada em relação ao processo teórico foi a análise das propostas pelo autor da dissertação, com opiniões emitidas pelo orientador e um outro profissional escolhido por ambos. Geralmente o método é realizado por equipes maiores e gera mais resultados, porém vale ressaltar que esta dissertação é individual, sendo que a participação mais aprofundada de uma equipe poderia descaracterizar este pré-requisito. Também deve-se levar em consideração que o resultado gerou duas patentes e pode gerar outras. Para que o sigilo de informações fosse garantido, optou-se por não realizar este trabalho com uma equipe maior de voluntários, visto que sem vínculos profissionais ou outra garantia de sigilo, os riscos de vazamento de informações seriam maiores. Além disto, sem frequência adequada de reuniões, o trabalho não fluiria no prazo previsto para a dissertação.

9.2 – Comparação do processo com a solução obtida.

- a) Princípios inventivos.** Quais foram usados, que soluções geraram e com que qualidade? Realizado conforme o Apêndice A.

- b) Padrões inventivos (76 – campo/substância).** Quais foram usados, que soluções geraram e com que qualidade? Realizado conforme PASSO 3.6 do item 5.1.2 e Anexo B.

c) Princípios inventivos essenciais para a solução. Conforme o Apêndice C.

d) Padrões inventivos essenciais para a solução. Os padrões inventivos somente reforçaram as propostas existentes (PASSO 3.6).

d) Contribuição do método de campo e substância. Conforme Apêndices B e D.

5. 2 Propostas de soluções (PCDs)

O problema técnico de localização das PCDs é semelhante ao do GPS, exceto por alguns aspectos, como a precisão necessária, a frequência, o impacto dos métodos de determinação de posição, de direcionalidade de antenas e do protocolo de troca de informações no balanço de energia dos satélites, que pode ser crítico caso os SCDs sejam substituídos por nanosatélites. Mesmo tendo precisões de localização bem mais flexíveis, o sistema opera em UHF e, face à dependência dos erros com o inverso do quadrado da frequência, tem erros cerca de 16 vezes maiores, que podem comprometer algumas aplicações de oceanografia, por exemplo. A seguir serão desenvolvidos apenas alguns passos da TRIZ que foram relevantes para o GPS e que podem ser aplicáveis para o caso da PCDs.

5.2.1 Aplicação da TRIZ (matriz de contradição) nas PCDs

Segundo os 8 passos da matriz de contradição e princípios inventivos de Altshuller descritos no item 2.3.1.1

5.2.1.1 Reconhecimento do problema

PASSO A.1 - Descrever a necessidade de melhorar o sistema atual com base numa análise multi-tela, com foco em porque é tão difícil satisfazer a necessidade com os métodos tradicionais.

O SBCD é constituído pelas diversas redes de plataformas de coleta de dados espalhadas pelo território nacional, sendo que os satélites operam como retransmissores de mensagens. As plataformas podem ser fixas ou móveis e a localização geográfica de plataformas móveis é baseada no efeito *Doppler* e no método dos mínimos quadrados. No caso, se o ângulo de visada da fonte é perpendicular à velocidade do satélite, o *Doppler* é nulo; se o ângulo for paralelo, o *Doppler* será máximo. A cada medida se tem um cone para as possíveis posições da fonte. Assim, o ângulo de visada é obtido em um dado instante a partir da variação de frequência do sinal e, em instantes posteriores, de forma similar. Em um sistema determinístico, três cones somente teriam uma posição comum, que seria a posição real da fonte; em um sistema estatístico minimiza-se o erro com várias medidas, usando um algoritmo apropriado, que pode envolver um valor inicial obtido com apenas 3 pontos. Este processo é, por natureza, bem diferente da navegação GPS *Doppler* e menos preciso que a trilateração do GPS, para sinais de iguais características. Verifica-se também que a relação sinal/ruído da determinação de distância (via *Doppler*) piora quando se tem interferências mutuas de PCDs transmitindo simultaneamente. Há estudos do INPE no intuito de utilizar uma constelação de nanosatélites, devido às várias vantagens como custo e rapidez para coletar dados espaciais, sendo o órgão responsável o CONASAT. O princípio de operação deve ser o de um *transponder* de coleta de dados embarcado no nanosatélite, o qual receberá os sinais das plataformas que estão espalhadas pelo Brasil e pelo Atlântico, retransmiti-los para as estações de recepção em Alcântara e Cuiabá e posteriormente, aos usuários.

Conforme revisão da literatura, de três estudos realizados (SOUZA et al., 2001; CELESTINO et al., 2006; SILVA et al., 2011), considera-se que os dados do primeiro estudo sejam mais coerentes, com erros na localização de 0,1 a 4,8 km. Primeiramente, pode parecer que o problema técnico é o

mesmo do GPS, mas há particularidades neste sistema. Verifica-se que, nas PCDs, a precisão necessária é mais elástica e não há aplicações críticas como na da aviação, que envolve risco de vidas humanas. Os problemas de TEC, bolhas ionosféricas e cintilações são os mesmos para o caso do GPS e a obtenção da posição das PCDs. Como há informações de que os SCDs deverão ser substituídos por *cubesats*, tem-se não só que garantir a superação de problemas de erros de determinação de posições gerados pela ionosfera, como relativos a outros aspectos. O SCD1 é um satélite de porte relativamente grande, com boa disponibilidade de energia; já os nanossatélites são menores e têm menos energia a bordo, e talvez não possam retornar o sinal à estação de rastreamento de dados, considerando satélites com as atuais antenas e canalização de frequências. A redução da carga de dados pode vir da redução da área de visada da antena de recepção de UHF (canalização) ou redução do tempo de transmissão das antenas das PCDs, que poderiam transmitir somente se interrogadas pelo satélite. Com a transmissão apenas nos momentos de interrogação, pode-se ter uma base de dados menor para achar a posição pelo método de *Doppler* atual, o que deterioraria a precisão deste. Outra opção seria aumentar o diâmetro da antena de recepção do INPE, mas isto pode gerar aumento de problemas de cintilação e ainda, possivelmente, exigir rastreamento mais preciso, o que pode ser problema no caso de muitos nanossatélites.

As PCDs fixas não precisam ser localizadas todo o tempo; mas com o monitoramento intermitente, sua localização não as protege contra furtos. Mudanças nas PCDs gerarão custos que incluem, não só os equipamentos adicionados a elas e mão de obra de instalação, mas deslocamento até o local de sua operação, caso este deslocamento já não esteja relacionado com manutenções programadas. O uso de *Doppler* requer maior tempo de transmissão das estações, já que são necessárias várias medidas para que as posições das plataformas sejam

obtidas por mínimos quadrados. De certo modo, a coleta de dados é feita com uma variação do método ALOHA, que aproveita a separação de frequência entre PCDs, em posições diversas devidas ao *Doppler*, e ao fato de haver intervalos entre as transmissões de dados de cada PCD. Reduzir a área de visada exige antenas maiores, o que é algo difícil para os *cubesats*. Atualmente, a antena dos SCDs é uma antena tetrafililar, feita com fios no SCD1 e com tubos e fotocomposição no SCD2, que teria de ser bem maior para redução da visada da antena. A antena de transmissão pode ser de diagrama variável, e há a possibilidade do *cubesat* usar o conhecimento da posição para escolher onde enviar sinal, já que em 2 GHz as antenas são menores. O *cubesat* pode ser estabilizado em 3 eixos, ativa ou passivamente por gradiente de gravidade, como exemplo. Há sempre várias alternativas e a questão na área de métodos heurísticos e de inovação é qual tem a maior idealidade.

Segundo Silva et al. (2009), foi proposto um projeto de implementação de um localizador GPS com algoritmo de criptografia de dados. O localizador oferece o serviço de localização geográfica através de um receptor do GPS com criptografia de dados que tenha comunicação segura, sigilosa, e confiável ao usuário (considerando os SCD-1 e SCD-2). Uma vez processados, os dados seriam disponibilizados na Internet via servidor FTP (File Transfer Protocol). Este projeto apresentaria as desvantagens de seu custo de implantação em todas as PCDs e a sua posterior manutenção (peças, mão de obra e deslocamentos), considerando que as medições estejam sendo efetuadas em área marítima.

Outra questão é precisão requerida à localização das PCDs e qual a amplitude desta precisão. No caso de uma boia em alto-mar durante o dia com bom tempo até mesmo uma pessoa com binóculos, em um local elevado de uma embarcação (cesto da gávea), pode localizá-la a partir da sua posição aproximada; à noite ou com mau tempo, requerem-se posições mais precisas. Além disto, na aproximação final com relação à

PCD, um sistema a bordo de uma embarcação (similar a um ADF) pode achar a PCD com apoio das variações das posições da embarcação e da mesma.

Há duas opções óbvias de controle de erros ionosféricos na localização das PCDs, que são críticos no amanhecer e entardecer: ajustes no sistema de localização *Doppler* ou sua troca pelo sistema de localização GPS. A precisão requerida de localização das PCDs deve ficar entre 100 e 140 m em 95% do tempo. Isto não é tão fácil de se obter com o sistema *Doppler* atual, tanto por sua precisão intrínseca como pelos efeitos ionosféricos e será ainda mais difícil com nanossatélites. Isto porque se deve baixar a carga de dados a ser retransmitida pelo nanossatélite para que ele tenha energia suficiente para enviá-los ao solo, ou então usar antenas de recepção de solos muito maiores e mais caras ou, ainda, usar outro tipo de modulação. Estas antenas, em virtude do maior tamanho, têm ângulos de meia potência e abertura muito pequenos; assim, são bem mais afetadas pelos fenômenos de cintilação ionosférica. Pode-se baixar a potência de retransmissão dos nanossatélites, baixando-se a carga de dados recebida por estes, seja reduzindo a transmissão de dados por parte das PCDs, seja reduzindo o número total de PCDs servidas por um nanossatélite, com antenas mais direcionais nos mesmos. Busca-se, no caso das PCDs, um sistema de mínimo custo de implementação que possa substituir o sistema atual.

PASSO B.1- Resumir as dificuldades com os métodos tradicionais na forma de contradições.

Em tese, pode-se considerar que a solução mais difundida pela instituição desenvolvedora do sistema de PCDs é a utilização de *cubesats*, cujo projeto está em fase de implantação e deverá superar alguns obstáculos.

Tabela 5.51 – Resumo das dificuldades (PCDs)

Efeitos nocivos da ionosfera: TEC, bolhas ionosféricas e cintilações.	
Soluções atuais	Contradições
Utilizar nanossatélites com novos conceitos de antenas.	a) Falta de energia para retransmissão de dados de todas as PCDs visíveis, a menos que estas baixem a taxa de dados, devido a menor disponibilidade de energia dos nanossatélites. b) Custo de implantação (desenvolvimento, fabricação e lançamento). c) Tamanho e tipo da antena em relação ao tamanho do satélite. d) Iluminação do nanossatélite.
Instalar GPS nas PCDs com transmissão de informações criptografadas.	a) Necessidade de hardware e software adicionais. b) Custo de implantação em todas as PCDs. c) Manutenção (peças, mão de obra e deslocamentos).

5.2.1.2 Análise do problema (PCDs)

PASSO C.1 - Definir os elementos em conflito (produto/ferramenta) para cada contradição apontada, e escolher uma delas para análise detalhada.

Tabela 5.52 - Elementos em conflito das contradições (PCDs)

Efeitos nocivos da ionosfera: TEC, bolhas ionosféricas e cintilações		
Soluções atuais	Elementos em conflito	
	Produto	Ferramenta
Utilizar nanossatélites com novos conceitos de antenas.	a) Quantidade e posição dos nanossatélites. b) Custo de implantação.	a) Tamanho e tipo da antena. b) Iluminação do nanossatélite. c) Energia insuficiente.

(Continua)

Tabela 5.52 - Continuação

Soluções atuais	Elementos em conflito	
	Produto	Produto
Instalar GPS nas PCDs com transmissão de informações criptografadas.	a) Implantação em todas as PCDs. b) Manutenção	a) Hardware e software adicionais em PCDs e estações. b) Custo de transporte até as PCDs para instalação. c) Energia insuficiente.

PASSO D.1 - Colocar a contradição escolhida na forma: precisa-se melhorar o parâmetro [A] de modo a atender a necessidade [b], mas com isto se deteriora o parâmetro [B].

A contradição será colocada de uma forma mais abrangente, enfocando o problema principal.

Precisa-se reduzir a energia a ser retransmitida por cada um dos nanossatélites que substituirão o SCD1, para que se viabilize o uso de satélites deste tipo que são intrinsecamente limitados quanto à energia disponível a bordo e possibilidade de uso de antenas de alta diretividade em UHF. Estas teriam de ser grandes e pesadas com as tecnologias convencionais, mas não se pode reduzir a energia retransmitida porque a taxa de dados das PCDs é alta em virtude destas usarem métodos de localização baseados em cones de posições possíveis e efeito *Doppler*; também utilizam algoritmos de mínimos quadrados que exigem que as estações transmitam quase que continuamente. Em adição, quer-se melhorar a precisão de localização, o que pode exigir um número de transmissões ainda maior e maior consumo de energia, além de poder esbarrar em problemas ionosféricos e nos limites impostos pelo método de localização e frequência de operação. Nanossatélites são leves e

pequenos (peso, área linear, volume), características estas que têm de ser preservadas, melhorando energia, confiabilidade, precisão de medida. Há, ainda, a possibilidade de uso de painéis solares infláveis e com estabilização por injeção de espuma com cura em órbita para viabilizar o aumento dos painéis solares sem que o peso dos nanosatélites aumente significativamente. Somente esta providência não resolve o problema, devido à necessidade de se aumentar a capacidade dos sistema de controle de atitude, principalmente rodas de reação e sistema de propulsores.

Objetivo: Remodelar o sistema de localização das PCDs de modo que se tenha precisão satisfatória e custo baixo.

Tabela 5.53 - Levantamento de recursos (PCDs)

<p>Sistema Global anterior</p> <p>1)Atmosfera 2)Solo</p>	<p>Sistema Global atual</p> <p>1)Espaço 2)Atmosfera 3)Ionosfera 4)Gravidade 5)Região marítima</p>	<p>Sistema Global futuro</p> <p>1)Espaço 2)Atmosfera 3)Ionosfera 4)Gravidade 5)Região marítima</p>
<p>Sistema anterior</p> <p>Coleta de dados no próprio local</p>	<p>Sistema atual</p> <p>PCD</p>	<p>Sistema futuro</p> <p>Novo sistema de coordenadas</p>

(Continua)

Tabela 5.53 – Continuação

Subsistemas anteriores	Subsistemas atuais	Subsistemas futuros
1) Sensores 2) Equipamentos	1) Satélites 2) Transmissores e receptores de satélite 3) Equipamentos 4) Antenas específicas 5) Algoritmos de cálculos.	1) Satélites 2) Transmissores e receptores 3) Equipamentos 4) Antenas específicas 5) Algoritmos de cálculos. 6) Antenas e refletores alternativos 7) GPS 8) Sistemas de comunicação 9) Antenas alternativas 10) Modelos matemáticos de comportamento. 11) Integração e derivação automatizados.

PASSO E5 – Identificar o parâmetro que se quer melhorar ou alterar [A] e o que não se quer deixar deteriorar ou [B].

Parâmetros da engenharia que podem estar envolvidos:

- 1- Peso do objeto móvel – peso dos nanossatélites.
- 3- Comprimento do objeto móvel – comprimento dos nanossatélites.
- 5- Área do objeto móvel – área dos nanossatélites ou suas antenas.
- 7- Volume do objeto móvel – volume dos nanossatélites.
- 10- Força – forças gravitacionais e provenientes dos pesos dos equipamentos dos nanossatélites e PCDs.
- 19- Energia gasta pelo objeto móvel – energia necessária para a comunicação entre nanossatélites, PCDs e outros sistemas.

21- Potência – potência necessária para a comunicação e operação dos nanossatélites e PCDs.

24- Perda de informação_– perda de informação na comunicação entre nanossatélites, PCDs e outros sistemas.

27 – Confiabilidade – dos nanossatélites/antenas/receptores e PCDs.

28 – Precisão de medição – precisão dos relógios dos nanossatélites, PCDs e outros sistemas.

29 – Precisão de fabricação - dos nanossatélites.

a) O que não se quer deixar deteriorar: 1,3, 5, 7, 10

b) O que se quer melhorar : 19, 21, 24, 27, 28, 29.

c) Casos de teste: 1x19, 1x21, 1x24, 1x27, 1x28, 1x29, 3x19, 3x21, 3x24, 3x27, 3x28, 3x29, 5x19, 5x21, 5x24, 5x27, 5x28, 5x29, 7x19, 7x21, 7x24, 7x27, 7x28, 7x29, 10x19, 10x21, 10x24, 10x27, 10x28, 10x29.

PASSO F5 - Aplicação da TRIZ: Ir para a linha da matriz com o título [A], e procurar a coluna de título [B], usando os princípios inventivos listados na célula M[A],[B]. Anexo A.

Tabela 5.54 – Utilização da tabela de princípios inventivos (PCDs)

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS	
1 x 19 = 12, 18, 28, 31	5 x 27 = 10, 14, 16, 17
1 x 21 = 8, 31, 36, 38	5 x 28 = 3, 26, 28, 32
1 x 24 = 10, 24, 35	5 x 29 = 28, 29, 32, 33
1 x 27 = 3, 8, 10, 40	7 x 19 = 13, 18, 35

(Continua)

Tabela 5.54 – Continuação

PARÂMETROS DE ENGENHARIA CONFLITANTES = PRINCÍPIOS INVENTIVOS	
1 x 28 = 32, 35, 26, 28	7 x 21 = 6, 35, 38
1 x 29 = 13, 18, 28, 32	7 x 24 = xxx
3 x 19 = 12, 28	7 x 27 = 3, 10, 14, 24
3 x 21 = 1, 10, 35, 37	7 x 28 = 6, 13, 32
3 x 24 = 1, 26	7 x 29 = 2, 28, 32
3 x 27 = 4, 9, 14, 15	10 x 19 = 2, 16, 21, 26
3 x 28 = 5, 16, 26, 28	10 x 21 = 2, 26, 35, 36
3 x 29 = 10, 28, 29, 37	10 x 24 = xxx
5 x 19 = 15, 19, 25	10 x 27 = 3, 8, 10, 28
5 x 21 = 19, 38	10 x 28 = 2, 32
5 x 24 = 26, 30	10 x 29 = 19, 28, 34, 36

Tabela 5.55 – Histograma de princípios de engenharia (PCDs)

SEQ- SEQUÊNCIA DOS PRINCÍPIOS / ENG- N° DO PRINCÍPIO/ REF- N° DE REFERÊNCIAS AO PRINCÍPIO																	
SEQ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ENG	28	10	26	32	35	2	3	8	13	14	16	18	19	36	38	1	6
REF	11	7	7	7	6	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
SEQ	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ENG	12	15	24	29	31	37	4	5	9	17	21	25	30	33	34	40	
REF	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

5.2.1.3 Síntese dos conceitos de solução (PCD)

PASSO G5 – Aplicar a lista de princípios inventivos. Verificar as combinações de parâmetros e quais as ações sugeridas com maior frequência. Estabelecendo-se como ponto de corte o número mínimo de quatro referências, obtém-se os seguintes princípios inventivos, na ordem:

Tabela 5.56 – Aplicação dos princípios inventivos (PCDs)

SEQ.	Nº DO PRINCÍPIO INVENTIVO	Nº DE REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO INVENTIVO
1	28	11	Substituição de meios mecânicos
2	10	7	Ação prévia
3	26	7	Cópia
4	32	7	Mudança de cor
5	35	6	Mudança de parâmetros e propriedades
6	2	4	Remoção ou extração
7	3	4	Qualidade localizada

5.2.1.3 Síntese dos conceitos de solução.

PASSO H5 - Interpretar as recomendações de uso de princípios inventivos/ações e listar conceitos de funcionamento de soluções sem detalhá-las.

Conforme as análises realizadas no PASSO C do item 5.2.1.2 listam-se as propostas iniciais na Tabela 5.57. As demais propostas também foram inseridas para facilitar a compreensão do método, porém serão descritas ao longo do desenvolvimento do processo.

Tabela 5.57 – Propostas de soluções (PCDs)

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO
P16	Utilizar nanossatélites com novos conceitos de antenas.
P17	Instalar GPS nas PCDs com transmissão de informações criptografadas.
P18	Implementar método CLIENT/SERVER para a obtenção de referência dos dados de posição (por atraso do sinal), inquirindo as plataformas para que estas transmitam de forma mais coordenada apenas os dados (sem excesso de repetição).
P19	Implantar medidor de distância, similar ao DME, seja com medida de tempo ou defasagem de códigos.
P20	Aumentar a diretividade das antenas das PCDs pelo seu reprojeto ou utilização de anteparos de bloqueio.
P21	Integrar as velocidades das PCDs.
P22	Utilizar princípio de operação do GPS, com trilateração da PCD por um único satélite.
P23	Usar Códigos de Proteção de Erros (FEC – <i>Forward Error Correction</i>) mais robustos e menor potência de transmissão, devido à menor relação sinal/ruído exigida
P24	Aumentar o número de satélites.
P25	Uso de <i>arrays</i> de antenas de recepção com combinadores na estação do INPE, em vez de uma só antena.
P26	Escolha adequada do diâmetro da antena da estação do INPE.
P27	Otimização do método de cone <i>Doppler</i> com utilização restrita, seleção de horários e sistema alternativo de radiolocalização.
P28	Uso de painéis solares infláveis com enrijecimento definitivo em órbita para proteção de impacto de micrometeoritos.
P29	Uso de modulação pseudoaleatória para determinar distâncias entre a PCD e o satélite, individualmente ou complementando o método de CLIENT/SERVER.

Seguem-se as interpretações do uso dos princípios inventivos ao problema. De acordo com a Tabela 5.57 pode-se realizar a interpretação dos princípios inventivos.

a) Como resolver o problema com substituição de meios mecânicos (28). Substituir sistema mecânico por outro ótico, acústico, tátil ou olfativo. Utilizar campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para interagir com objeto, mudar campos estáticos para variáveis, de não estruturados para estruturados e de fixos para móveis. Utilizar campos em conjunto com partículas ativadas por estes.

Tabela 5.58 – Princípio de substituição de meios mecânicos.

COMENTÁRIOS	PROPO- TAS
São compatíveis com esta regra: a troca do sistema de comunicação unidirecional sem coordenação de acesso por outro bidirecional com coordenação de acesso (nanossatélites); troca de antenas mecânicas por antenas infláveis para redução de peso (nanossatélites); troca da fonte de informação de posição (atualmente de cone <i>Doppler</i> e mínimos quadrados) por GPS.	P16 P17
Substituição do método atual (cone <i>Doppler</i>) por outro sistema para obtenção de dados de posição. Este sistema utiliza o método de comunicação de dados dos sistemas de redes de computadores. O método CLIENT/SERVER pode ser usado para a comunicação de dados entre os satélites e as PCDs. Atualmente elas transmitem periodicamente, com a presença ou não de satélites visíveis, e retransmitem desnecessariamente os mesmos dados, o que aumenta a energia gasta nos satélites. No método CLIENT/SERVER o CLIENT será a PCD e o satélite, o SERVER. A PCD somente enviará dados se houver uma requisição (REQUEST) por parte do satélite e a comunicação será interrompida quando a mensagem terminar. (UNESP, 2005)	P18
Substituição do método atual por medida de distância. O sistema poderá determinar a distância satélite à plataforma de modo similar ao DME, pelo atraso de código ou de sinal.	P19

(Continua)

Tabela 5.58 – Continuação

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
Substituição de parâmetros de antenas. Aumentar a diretividade das antenas das PCDs para garantir somente visada a elevações altas. Pode-se proporcionar mudança na condição de visada PCD-Satélite com anteparos de bloqueio nas antenas das PCDs. (FERNANDO; VALERO, 2015; RIBEIRO, 2012)	P20

b) Como resolver o problema com uso de ação prévia (10).

Realizar uma ação de maneira prévia total ou parcialmente antes da mesma ser necessária até mesmo alterando a forma do objeto. Arranjar os objetos previamente de forma que se possa usá-los com menor perda de tempo.

Tabela 5.59 – Princípio de ação prévia.

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
A ação prévia poderia ser o uso de modelos dinâmicos das PCDs móveis nas estações do INPE para considerar a movimentação das mesmas entre sucessivas obtenções de dados de posição (integração de velocidades).	P21
Também são ações prévias: aumento da diretividade nas antenas dos nanosatélites; determinação de posição com sistema alternativo (GPS e medidor de distâncias); método de comunicação e cálculo de posição com envio de requisições de dados e posterior retorno (CLIENT/SERVER).	P16/P17 P18/P19 P20

c) Como resolver o problema com cópia (26). Substituir objetos caros, de difícil obtenção e frágeis por itens simples e baratos que façam igual função.

Tabela 5.60 – Princípio de cópia.

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
Cópia do princípio de operação dos <i>cubesats</i> , com a utilização de nanossatélites que oferecem muitas vantagens como tamanho, peso e, conseqüentemente, o custo envolvido.	P16
Cópia de método de comunicação de dados dos sistemas de redes de computadores (CLIENT/SERVER). Cópia do método de determinação de distância do DME (atraso de código ou sinal).	P18 P19
Cópia do princípio de operação do GPS usando determinação de distância do satélite à plataforma por código (no mínimo, em quatro instantes de tempo) para utilizar trilateração da PCD com um único satélite, considerando que a velocidade do satélite é muito maior que a da PCD. (SANTOS; GOMES, 2013; ANDRADE, 2015)	P22

d) Como resolver o problema com mudança de cor (32). Mudar cores no objeto ou ambiente (cada cor possui uma frequência). Mudar transparência do objeto ou ambiente, usar aditivos coloridos ou fluorescentes para facilitar a observação; usar características termo-ópticas em controle.

Tabela 5.61 – Princípio de mudança de cor.

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
Possibilidade de alteração de frequência de operação dos nanossatélites e dos sinais do protocolo CLIENT/SERVER, a fim de serem menos imunes aos efeitos da ionosfera, já que os erros decrescem com o inverso do quadrado da frequência.	P16 P18
Aumentar a diretividade e utilizar anteparos de bloqueio nas antenas das PCDs para garantir somente visada a elevações altas (seleção de frequências).	P20

- e) **Como resolver o problema com mudança de parâmetros e propriedades (35).** Mudar propriedades físico-químicas, estado físico, consistência, concentração, flexibilidade, temperatura, pressão ou outro parâmetro qualquer para viabilizar algo.

Tabela 5.62 - Princípio de mudança de parâmetros / propriedades

COMENTÁRIOS	PROPO- S-TAS
Mudança de parâmetros das antenas de nanossatélites. Mudança das antenas de recepção do satélite em UHF para limitar a visada no solo. Mudança da antena de transmissão para iluminar estações de rastreo na retransmissão de dados (somente PCDs interrogadas). Usar antenas infláveis e não convencionais.	P16
Mudança do método de obtenção de posição do cone <i>Doppler</i> para medida de distâncias baseada no atraso do sinal (DME), podendo-se utilizar os sinais do protocolo CLIENT/SERVER.	P18 P19
Mudança na diretividade (aumento) e condição de visada das antenas das PCDs por reprojeção ou anteparos de bloqueio.	P20
Mudança de códigos. Uso de Códigos de Proteção de Erros (FECs) mais robustos e menor potência de transmissão devido à menor relação sinal/ ruído exigida. (KAMALA; ATYANARAYANA, 2013)	P23
Mudança (aumento) do número de satélites para que possa ser aumentada a eficiência do sistema com mais fontes de sinais disponíveis.	P24
Mudança na projeto da antena. Uso de <i>arrays</i> de antenas de recepção com combinadores na estação do INPE, em vez de uma só antena. Devido à combinação de antenas realizada, melhora o desempenho do conjunto, que fica praticamente imune às cintilações. (CASTRO; FRANCO, 2015; RIBEIRO, 2012)	P25

(Continua)

Tabela 5.62 - Continuação

COMENTÁRIOS	PROPO- S- TAS
<p>Mudança no diâmetro da antena. Escolha adequada do diâmetro da antena da estação do INPE, a fim de que esta possa ter uma área maior na recepção dos sinais e aumentar seu ganho. Porém, deve-se considerar que uma antena com diâmetro maior fica mais sensível às cintilações. (FERNANDO; VALERO, 2015; RIBEIRO, 2012)</p>	<p>P26</p>
<p>Mudança de procedimentos (otimização). Escolha de horários de coleta de dados de posição, com menor periodicidade nos períodos mais críticos da ionosfera, como ao entardecer e amanhecer. Uso de um sistema alternativo de radiolocalização para obtenção de dados mais precisos quando o agente estiver próximo à PCD. Este sistema aproveitaria os sinais diretos da PCD, sem necessidades dos satélites. Uso de localização de cone <i>Doppler</i> como sistema alternativo nos casos em que o mesmo for estritamente necessário.</p>	<p>P27</p>
<p>Mudanças no sistema de obtenção de energia. Considerando que há limitações para o aumento do peso dos nanossatélites, podem ser implementados painéis solares infláveis e injeção de espuma com cura em órbita. Estes painéis solares infláveis deverão possuir enrijecimento definitivo em órbita para proteção de impacto de micrometeoritos. Para isto, há a possibilidade de utilizar separadores para afastar o suporte de uma camada de células acomodada por dobradura do elemento inflável da outra, e espuma entre as células para enrijecimento do conjunto no lançamento.</p>	<p>P28</p>
<p>Mudança do método de obtenção de posição de cone <i>Doppler</i> para medida de distâncias, considerando o tipo de modulação. Pode-se considerar, neste caso, o uso de modulação pseudoaleatória para determinar distâncias entre a PCD e o satélite, individualmente ou complementando o método de CLIENT/SERVER.</p>	<p>P29</p>

f) **Como resolver o problema com remoção ou extração (2).**

Tentar fazer um novo sistema onde esteja presente apenas a função desejada; onde a propriedade que causa transtorno esteja

bloqueada, não possuir utilidade ou estiver ausente, ou o mais longe possível do item que sente o problema (bloquear a ação).

Tabela 5.63 – Princípio de remoção ou extração.

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
Remoção e substituição de itens externos nos nanossatélites como antenas e painéis solares. Remoção das antenas e painéis solares convencionais, substituindo-os por antenas e painéis infláveis. Remoção de uma única antena, substituindo-a por um <i>array</i> de antenas, principalmente no solo para controle da cintilação via escolha do combinador de sinais.	P16 P25 P28
Remoção do método de cone <i>Doppler</i> . Os princípios mais úteis à solução do problema são a interrogação do protocolo CLIENT/SERVER, obtenção de distâncias do DME (por código ou diferenças de tempos de chegada de sinal) e a modulação pseudoaleatória.	P18 P19 P29

g) **Como resolver o problema com qualidade localizada (1).**

Mudar a estrutura do objeto de uniforme para não uniforme. Fazer com que tudo tenha função útil. Tornar cada item o mais apropriado para sua função e operação, inclusive campos e forças, tornando-os variáveis.

Tabela 5.64 – Princípio de qualidade localizada.

COMENTÁRIOS	PROPOSTAS
A escolha de altura dos nanossatélites é um fator que reduz visada, a qual é uma qualidade localizada. No uso de receptor GPS somente se inclui o dado de posição no sinal da PCD. A redução da taxa de dados com a alteração do protocolo influi na qualidade localizada (CLIENT/SERVER).	P16 P17 P18

(Continua)

Tabela 5.64 – Continuação

COMENTÁRIOS	PROPOS-TAS
<p>Outros casos de qualidade localizada: determinação de distância, maior diretividade das antenas das PCDs, integração da velocidade, FECs mais robustos/menor potência de transmissão, uso de <i>array</i> ou aumento do diâmetro de antenas na estação receptora do INPE e otimização do cone <i>Doppler</i>. Alterações em antenas e painéis solares de satélites são fatores de qualidade localizada, já que não se altera todo o satélite, mas algumas partes deste.</p>	<p>P19/P20 P21/P23 P25/P26 P27/P28</p>

PASSO 7A – Verificar conceito da solução.

As soluções P16/P17/P19/P21/P22/P24 são ideias do caso do GPS, adaptadas às PCDs, pois os erros ionosféricos são um problema comum. Observou-se a relevância do projeto dos nanossatélites pela matriz de contradição. A P18 (CLIENT/SERVER) também reduz o uso de energia de bordo e as retransmissões indevidas. A medida de distância (P19), similar ao DME, pode ser feita por tempo de atraso ou códigos. As propostas P17(GPS-PCD)/P18 e P17/P21(INTVEL-PCD) baixam o uso de energia dos satélites e o erro ionosférico, mas exigem mudanças nas PCDs, o que pode complicar o sistema. Antenas infláveis nos satélites podem baixar o erro ionosférico e gasto de energia sem se alterar as PCDs, e podem ser combinadas com o uso de P26. A grande questão a ser resolvida é o quanto estas soluções podem influenciar no sistema atual, tornando-o mais complexo e gerando maiores custos.

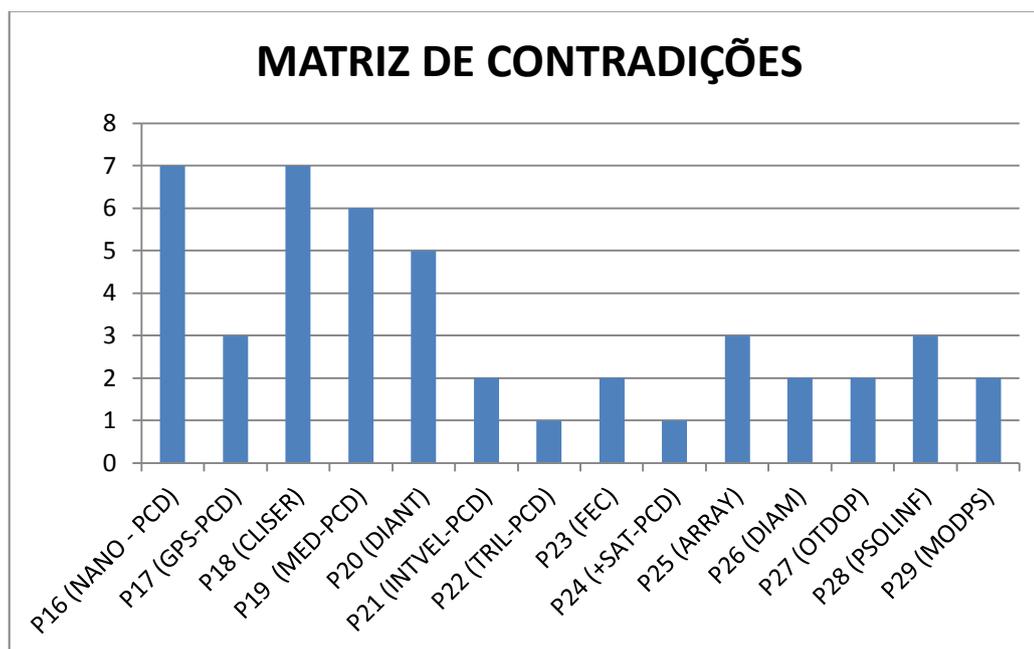


Figura 5.23 - Estatística das soluções (TRIZ/PCDs).

A seguir, serão resumidas as três propostas que apresentaram mais referências e suas principais vantagens.

P16 - Utilizar nanossatélites com novos conceitos de antenas.

P18- Implementar método CLIENT/SERVER para a obtenção de referência dos dados de posição (por atraso do sinal), inquirindo as plataformas para que estas transmitam de forma mais coordenada apenas os dados (sem excesso de repetição).

P19- Implantar medidor de distância, similar ao DME, seja com medida de tempo ou defasagem de códigos.

Conforme revisão da literatura e análises da TRIZ, há estudos do INPE no intuito de utilizar uma constelação de nanossatélites, devido às várias vantagens como custo e rapidez para coletar dados espaciais, sendo o órgão responsável o CONASAT. O princípio de operação deve ser o de um *transponder* de coleta de dados embarcado no nanossatélite, o qual

receberá os sinais das plataformas que estão espalhadas pelo Brasil e pelo Atlântico, retransmiti-los para as estações de recepção em Alcântara e Cuiabá e posteriormente, aos usuários.

Como verificado para o caso do estudo do GPS, há a possibilidade de utilização de nanossatélites como transceptores ou *pseudolites* espaciais. Se estes também forem utilizados para apoio às PCDs, navegação e outras aplicações locais, sua relação custo/benefício será bastante atrativa. Podem ser rastreados, ou sua posição ser determinada diretamente por GPS; sendo utilizados como retransmissores, tendem a captar mais sinais dos satélites do GPS e similares do que os receptores em terra. Outras vantagens dos nanossatélites são peso e tamanho reduzido, otimização da comunicação, maior garantia da integridade dos dados, possibilidade de armazenamento e posterior envio de dados recebidos fora da área de cobertura e simplificação do processamento em terra. A localização das PCDs poderá ser feita com a adoção do próprio GPS como referência, complementada pelo protocolo de CLIENT/SERVER. Três nanossatélites (no mínimo) poderiam enviar requisições para uma dada PCD e, com a distância destas aos nanossatélites, a central poderá localizá-la no solo pela medida de tempo ou defasagem de códigos, similar ao DME.

Desta forma, o prosseguimento da TRIZ e a utilização da matriz de Pugh e AHP não devem resultar em ganhos relevantes, já que as soluções selecionadas, em tese, conseguem substituir o método atual com melhor precisão e ainda favorecem o balanço de energia dos nanossatélites.



Figura 5.24 – Propostas de soluções (PCDs).

Fonte: INPE (2015)

7.1 Verificação do conceito quanto a execução funcional.

7.2 a) A solução atende ao objetivo principal?

Objetivo: Remodelar o sistema de determinação de posição das PCDs de modo que se tenha precisão satisfatória e custo baixo.

R – Sim. Se as três propostas que obtiveram mais referências forem operacionalizadas (nanossatélites, CLIENT/SERVER e medidor de distâncias) poderá ser obtida uma nova constelação de satélites no decorrer do tempo, com a desativação dos SCDs e CBERS. O método de obtenção dos dados de posição também poderá ser alterado com a utilização do protocolo CLIENT/SERVER e medida de distância, além do fato dos nanossatélites poderem utilizar como referência o próprio GPS. A inovação está na contextualização dos nanossatélites para o caso das

PCDs e na utilização do CLIENT/SERVER como sistema de comunicação.

7.2.b) Qual a contradição física que foi resolvida?

R-. As contradições principais são a redução da energia a ser retransmitida por cada um dos nanossatélites (taxa de dados alta em virtude do método de localização) e possibilidade de uso de antenas de alta diretividade em UHF (grandes e pesadas com as tecnologias convencionais). Para melhorar a precisão de localização, haverá a necessidade de número de transmissões ainda maior, com mais consumo de energia, porém os parâmetros dos nanossatélites (peso, área linear, volume) deverão preservados.

Com a adoção das antenas infláveis e do método de CLIENT/SERVER estas contradições, em tese, serão resolvidas, considerando que:

- a) as antenas infláveis apresentam menor peso e outras vantagens, não gerando alterações nos parâmetros principais dos nanossatélites; e
- b) as plataformas serão inquiridas para que estas transmitam de forma mais coordenada apenas os dados (sem excessos de repetição).

7.2.c) Tem o novo sistema ao menos um elemento controlável e, em caso afirmativo, quais são seus elementos controláveis e como estes elementos são controlados?

R- Como definido no PASSO 1.2 (letra h) os elementos controláveis são a transmissão, recepção e processamento. Os sistemas selecionados têm como elemento controlável o nível de sinal dos transmissores dos nanossatélites e PCDs, considerando a distância relativa entre os mesmos. Como os nanossatélites têm limitação de energia, deve haver um compromisso entre o nível de sinal e as dimensões do mesmo, para que haja espaço suficiente para o sistema de energia e instalação de

antenas infláveis. Também deverá ser considerado, nos cálculos de alcance, a distância entre nanossatélites e PCDs, para que o nível de sinal alcance um número de PCDs suficientes para a transmissão de dados (no mínimo, três).

7.2.d) Como a solução desenvolvida para um ciclo de operações pré-definidos se comporta em condições de operações reais mais abrangentes?

R- O sistema proposto, a fim de que alcance um nível de custo/benefício compensador, poderá operar com os sistemas de navegação verificados no caso anterior (do GPS). Apenas uma constelação de nanossatélites poderia ser utilizada para ambas as aplicações e tornar-se-ia viável uma parceria de instituições para todo o processo de desenvolvimento, projeto e implementação, gerando várias vantagens (principalmente o custo final).

PASSO 8 – Aplicações da solução encontrada.

O objetivo do passo 8 é maximizar o uso dos recursos descobertos / obtidos pelo conceito de solução.

8.1 - Estimativas de mudança no super-sistema.

Com a adoção das propostas selecionadas deverão ocorrer mudanças nas antenas dos nanossatélites e das PCDs, para diminuir a carga de dados a ser retransmitida pelo nanossatélites e eliminar ou minimizar, ao máximo, a atuação dos efeitos ionosféricos nocivos. Também ocorrerão alterações no método de obtenção da posição da PCD, de cone *Doppler* para a medida de atraso de sinal ou código, utilizando o protocolo CLIENT/SERVER.

8.2 – Busca de aplicações para a solução obtida.

Esta solução poderia ser adotada em diversos outros sistemas de localização, principalmente para objetos móveis no mar ou em grandes rios.

PASSO 9 – Análise do processo de solução.

Todo o processo criativo tem de produzir, além da solução, um aumento da criatividade das pessoas envolvidas nele.

9.1 – Comparação do processo usado com o processo teórico completo. Comentário das diferenças (se existirem) e como elas podem ter ajudado ou dificultado o processo.

R- Embora os problemas possam parecer bem semelhantes, o contexto dos dois sistemas possui algumas peculiaridades. Como o caso das PCDs é considerado menos complexo, optou-se por utilizar inicialmente somente o método da TRIZ (matriz de contradição), sendo constatado que este (mesmo sendo aplicado parcialmente) gerou propostas de soluções bastante viáveis. Partindo das duas propostas iniciais surgiram mais doze, totalizando catorze que foram submetidas ao método da TRIZ. Pela aplicação do método, constatou-se que a utilização das propostas de utilização de nanossatélites, complementada com o CLIENT/SERVER e medida de distância, seriam suficientes para solucionar o problema com a precisão e margem de segurança totalmente compatíveis com a aplicação. Assim, não houve a necessidade da continuidade da TRIZ e aplicação da matriz de Pugh e AHP. A mesma análise da limitação do método vale para este caso e não foram encontradas soluções exatas, perfeitas e definitivas, devido ao fato de não ter ocorrido a participação de uma equipe de trabalho, mas a análise do autor e opiniões do orientador e de um outro profissional. Também foi preservado o sigilo das

informações, considerando que os métodos de solução de problemas técnicos e inovação geram patentes.

9.2 - Comparação do processo com a solução obtida.

a) Princípios inventivos. Quais foram usados, que soluções geraram e com que qualidade ? Realizado conforme o Apêndice E.

b) Princípios inventivos essenciais para a solução. Conforme o Apêndice F.

Após o encerramento de todos os objetivos específicos propostos na introdução, o objetivo geral da presente dissertação de apresentar uma proposta de utilização de métodos heurísticos e de inovação nos projetos de sistemas de posicionamento e coleta de dados baseados em tecnologia de satélites (GPS/PCDs), considerando os efeitos da ionosfera, foi alcançado (em tese). No próximo item serão expostos os resultados mais relevantes obtidos, assim como sugestões para outras aplicações das propostas de soluções.

6 CONCLUSÃO

A presente dissertação refere-se ao uso de alguns métodos heurísticos como a TRIZ, matriz de Pugh e AHP para a solução dos problemas técnicos relativos aos efeitos ionosféricos prejudiciais em sistemas de radiolocalização como o GPS e as PCDs, do INPE. Após uma análise dos métodos heurísticos de busca das inovações disponíveis na literatura, mencionados no capítulo dois, concluiu-se que a TRIZ associada à matriz de Pugh e AHP, seria o caminho mais adequado à solução dos problemas mencionados. Outros métodos poderiam ser excelentes na avaliação comparativa de soluções e na redução de acoplamentos nocivos gerados pelas opções técnicas, porém exigiriam muito mais tempo de aprendizado e nem sempre induziriam à solução do problema com foco nos pontos críticos. A matriz de Pugh e AHP tornaram-se, ao longo do tempo, algoritmos eficazes para escolha do grupo de ideias mais promissoras a serem mais trabalhadas, apresentando relevância para o processo desta dissertação.

Das várias soluções atualmente disponíveis para redução de erros devidos a efeitos ionosféricos no GPS, nenhuma consegue atingir os padrões de precisão e confiabilidade exigidos para pousos e decolagens pelo ICAO nas áreas equatoriais do Brasil, devido aos fenômenos ligados à alta atividade no nascer e pôr do sol nos equinócios, que são ainda mais intensos nos períodos de atividade solar máxima. A matriz de Pugh foi utilizada inicialmente para a solução do problema técnico relativo aos efeitos ionosféricos prejudiciais aos sinais transmitidos pelo GPS e outros sistemas de localização, como as PCDs. Conforme revisão da literatura, a matriz de Pugh foi utilizada inicialmente (primeiro ciclo) para analisar as propostas de soluções baseadas nos estudos e práticas adotadas na aviação. Após esta análise, houve a aplicação da TRIZ considerando as soluções iniciais, analisadas em dupla, para a aplicação dos princípios de

engenharia. Todos os princípios inventivos resultantes da TRIZ foram interpretados e surgiram mais propostas de soluções, atingindo o total de quinze, o triplo das iniciais. Com a aplicação da matriz de Pugh em mais dois ciclos, estas soluções reduziram-se para nove. Uma aplicação da TRIZ de forma geral (sem considerar propostas de soluções) foi realizada, a qual confirmou a grande maioria dos princípios inventivos anteriores. Os métodos da TRIZ e matriz de Pugh resultaram em onze propostas, considerando a interseção das seleções realizadas. O AHP foi utilizada, condensando-se os critérios da matriz de Pugh, e as soluções reduziram-se a nove. Como o problema inicial do GPS para a aviação é considerado crítico e complexo, estas nove foram ainda submetidas a mais ciclos de AHP, sendo divididos em partes, considerando soluções para médios/grandes aeroportos e pequenos aeroportos/emergências. Estas propostas foram combinadas em dupla neste ciclo final da AHP, sendo proposto o GPSEER (*GPS System Support for Equatorial Regions*), aproveitando as propostas de utilização de nanossatélites, inercial/altímetro e pseudolites. Estas soluções ou suas derivações poderiam ser ainda utilizadas para efetuar a monitoração ou determinação da posição (órbita) de veículos lançadores de satélites (ou foguetes científicos de sondagem), naves tripuladas (tipo Shuttle), satélites (incluindo transferências de órbitas) e diversos outros sistemas de localização de objetos móveis, principalmente em regiões marítimas ou de grandes lagos.

O processo teórico foi bastante facilitado para o caso das PCDs, considerando o aprendizado do caso anterior. Foram aplicados princípios de engenharia semelhantes ao do caso GPS e as propostas apresentaram vários conceitos comuns, sendo que o método de análise do problema diferenciou-se pelo contexto do sistema. Como o caso das PCDs é considerado menos complexo, optou-se por utilizar somente o método da TRIZ com a matriz de contradição, considerando que o

método de campo e substância somente serviu para reforçar as propostas no caso GPS, com pouca probabilidade de surgir uma proposta criativa. Partindo das duas propostas iniciais surgiram mais doze, com destaque para o emprego de nanossatélites com protocolo CLIENT/SERVER e medida de distância.

A situação dos efeitos da ionosfera fica mais evidente, considerando o pico de emissões solares, a cada 11 anos aproximadamente, tendo sido o último detectado em 2013 e 2014. O ideal é que o sistema proposto (GPSER) seja qualificado em um período de máxima intensidade solar. Somente neste período, a ICAO poderá definir em que condições o piloto poderá confiar unicamente neste sistema e estabelecer os limites dos parâmetros para pousos e decolagens com esta nova instrumentação. Para os dois casos não foram encontradas soluções exatas, perfeitas e definitivas, conforme previsto pela teoria. As análises foram efetuadas pelo autor da dissertação, com opiniões do orientador e de um outro profissional, não havendo a participação de uma equipe de trabalho. Vale ressaltar que a dissertação é individual e o assunto abordado de solução de problemas técnicos pode gerar uma ou mais patentes, como foi o caso da presente dissertação, o que exige um certo sigilo das informações e do resultado final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARONS, J. 50 Years of Radio-scintillation observations. **IEEE Antennas and propagation magazine**, v. 39, n. 6, p. 7-12, December 1997.

AGUIAR, C. R. **Modelo regional da ionosfera (mod_ion):** a caminho da implementação em tempo real. 254 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (FCT- UNESP), Presidente Prudente, 2003.

ALTSHULLER, G. **The innovation algorithm:** TRIZ, systematic innovation, and technical creativity. Worcester, Massachusetts, U.S.A: Technical Innovation Center, 1999.

ANDRADE, T.P. **Sistemas de posicionamento:** uma visão geral sobre o posicionamento outdoor e indor. São Paulo, S.P.: Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME/USP), 2015. Disponível em: < <http://grenoble.ime.usp.br/~gold/cursos/2008/movel/slides/SistemasIndoorOutdoor.pdf> >. Acesso em: 15 out. 2015.

APOLLO 11. **Mancha solar aparece e marca o início do ciclo solar 24.** São Paulo, S.P.: Astronomia, 2008. Disponível em: < http://www.apollo11.com/spacenews.php?posic=dat_20080105-115837.inc >. Acesso em 4 out. 2015.

ARAÚJO, E. D. **DGPS** : aplicação aérea de precisão. Pelotas, R.S.: Agrotec, Set. 2005. Disponível em: <<http://www.agrotec.etc.br/downloads/DGPS%20Aplicacao%20Aerea%20de%20Precisao.pdf>>. Acesso em: 27maio 2015.

BAMBACE, L. A. W. **Disciplina de métodos heurísticos de busca de soluções inovadoras em problemas técnicos.** São José dos Campos: INPE, 2013. 456 slides.

BASU, S.; MACKENZIE, E. Ionospheric constraints on VHF/UHF communication links during solar maximum and minimum periods. **Radio Science**, v. 23, n. 3, p. 363-378, May – June 1988.

BELDERBOS, R.; CARREE, M.; DIEDEREN B.; LOKSHIN B.; VEUGELERS, R. Heterogeneity in R&D cooperation strategies. **International Journal of Industrial Organization**, n. 22, issue 8-9, p. 1237-1263, 2004.

BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. M. B. **Aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) na coleta de dados.** Rio Claro, S.P.: UNESP, 2002. 31p. Disponível em < <files.sistele7.webnode.com/200000221-7e1037f0d1/textogps.pdf> > . Acesso em: 14 jul. 2015.

BLUE SKY. **Satellite** – based precision approaches at Frankfurt Airport. Frankfurt, Germany: D.F.S, 2014. Disponível em: <http://www.blueskynews.aero/issue_231/Satellite-based_precision_approaches_at_Frankfurt_Airport.htm>. Acesso em: 2 out. 2015.

BORZA, J; GOUR, R.; MALKIN, S. **TRIZ** - Theory of inventive problem solving”. Presentation to Detroit Chapter of Institute of Industrial Engineers. Kent, Ohio, U.S.A: Kent State University, 2007. Available in: http://www.iiedetroit.org/programs/2007/02_2007%20TRIZ%20presentation%20and%20Dinner.htm. Access on: 3 aug. 2014.

BRASIL. **Lei 10973, de 2.12.2004**. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato_2004-2006/2004/lei/l10.973.htm>. Acesso em: 27 set. 2014.

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma frequência**. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 1999.

CAMPOS, M. A.; WANNINGER, L.; SEEBER, G. Condições ionosféricas perturbadas e os sinais GPS. Em: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 1993, Rio de Janeiro, R.J. **Anais...** Rio de Janeiro: 1993. p.601-604. Resumos Expandidos.

CARDOSO, F. A.; SAHAI, Y.; VARGAS, F. Análise do TEC e cintilações em diversas latitudes no setor brasileiro através do sistema GPS da Rede UNIVAP. Em: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2010, São José dos Campos, S.P. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, 2010.

CARRARA, V.; KUGA, H. K.; BRINGHENTI, P. M.; CARVALHO, M. J. M. Attitude Determination, Control and Operating Modes for CONASAT Cubesats. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACE FLY DYNAMICS (ISSFD), 24., Laurel, Maryland, U.S.A, 5-9 May 2014. **Proceedings...** Laurel, 2014.

CARVALHO, M. A. **Metodologia IDEATRIZ para a ideação de novos produtos**. 232 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2008.

CARVALHO, M. A.; BACK, N. Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 3., 2001, Florianópolis, S.C. **Anais...**Florianópolis: 2001. Disponível em: <<http://www.decarvalho.eng.br/macartigoiiicbgdp.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

CARVALHO, M. J. M.; JOTHA, L. S. Uma missão espacial de monitoramento ambiental usando cubesat. Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA ESPACIAL E AERONOMIA & FORUM DE PESQUISA E INOVAÇÃO DO CLBI, 5. e 4., 2014, Natal, R.N. **Anais...**Natal: 2014. Disponível em < www.sistemas.ufrn.br/shared/verArquivo?idArquivo=2215667&key >. Acesso em: 21 nov. 2014.

CASTRO, F. C. C.; FRANCO, P. R. G. **Arrays**. Porto Alegre, R.S.: Faculdade de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), 2015. Disponível em < http://www.feng.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C5.pdf >. Acesso em 7 out. 2015.

CELESTINO, C. C.; SOUZA, C. T., YAMAGUTI, W.; KUGA, H. Avaliação dos efeitos ionosféricos e troposféricos na localização geográfica de Plataformas de Coleta de Dados. Em: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS, CONTROL AND THEIR APPLICATIONS (DINCON), 2006, Guaratinguetá, S.P. **Anais...**Guaratinguetá: 2006.

CELESTINO, C. C.; YAMAGUTI, W.; KUGA, H.; SOUZA, C. T. A localização geográfica de plataformas no Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...**São José dos Campos, S.P.: INPE, 2009. Artigos, p. 1605-1610. CD-ROM. ISBN 85-17-460044-7.

CHIARADIA, A. P. M.; KUGA, H. K.; PRADO, A. F. B. A. **Investigation of the GPS signals ionospheric correction**. São José dos Campos, S.P.: INPE, 1998. Available in: <<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m16/2012/08.01.17.17/doc/ionospheric.pdf>>. Access on: 14 oct. 2015.

CHRISTENSEN, C. M.; RAYNOR, M. **The innovator's solution: Creating and sustaining successful growth**. Boston, Massachusetts, U.S.A: Harward Business School Press, 2003. 304p.

CHUJO, A. M. **Tecnologias de navegação aérea por GNSS e DGNS para operação CNS/ATM**: Aplicações para o Brasil. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação na área de Telecomunicações) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2007.

CHUJO, A. M.; WALTER, F. Safety and Efficient Operations Using Ground-Based Augmentation System (GBAS). In: INTERNATIONAL AIRPORTS CONFERENCE: PLANNING, INFRASTRUCTURE & ENVIRONMENT, 2., 2006, São Paulo, S.P.. **Anais...** São Paulo: 2006. Disponível em: <<http://www.andit.org.br/iac/Paper%20of%20CD/2006%20202020AIC%20%20Paper%2002-034.pdf>> Acesso em: 14 jan. 2015.

CORREIA, C. A. L. **Navegação aérea com GPS**. 163p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésias) – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 1977.

DEINES, S. D. **Precise pseudoranges obtained from combining code and dual carrier measurements in Global Positioning System receivers**. Retrospective Theses and Dissertations. Iowa, U.S.A: Iowa State University, 2006. Available in: <<http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2899&context=rtd>>. Access on: 8 out. 2015.

DEMARQUE, E. **TRIZ – Teoria para resolução de problemas inventivos aplicado ao planejamento de processos na indústria automotiva**. 250 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Em busca do pouso perfeito**. Desenvolvido por Daniel Marinho. Rio de Janeiro, R.J.: DECEA, 2011. Disponível em: <<http://www.decea.gov.br/em-busca-do-pouso-perfeito/>>. Acesso em 23 fev. 2015.

DESIGN@DEVELOP (DD4U). **Assignment: Pugh chart**. Kuala Lumpur, Malaysia: University Malaysia, 2013. Available in: <<http://doubledee4u.blogspot.com.br/2013/11/assignment-pugh-chart.html>> Access on: 2 jul. 2015.

DRON ENG. **Mapeamento aéreo com drones: como garantir a qualidade do voo**. Desenvolvido por Manoel Silva Neto. São Paulo, S.P.: Dron Eng, 2014. Disponível em: <<http://droneng.com.br/mapeamento-aereo-com-drones/>> Acesso em: 6 out. 2015.

DRUQUER, P. **A disciplina da inovação**. Cambridge, U.S.A.: Condensado de Harvard Business Review, Nov./dez. 1998. Disponível em: <www3.uma.pt/jfreitas/inovacao.doc>. Acesso em: 23 mar. 2015.

ELIASSON, M. **A Kalman filter approach to reduce error for pedestrian applications in areas of bad GPS reception**. Suécia, Umeå Universitet: Spring, 2014, 36 p. Available in: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:743775/FULLTEXT01.pdf>>. Access on: 25 abr. 2015.

EL RINCÓN DEL VAGO. **AMSS applications**. Salamanca, Espanha: El Rincón del Vago, 2005. Disponível em: < <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html> >. Acesso em: 10 out. 2015.

ESMINGER, D; BOND, L. J. **Ultrasonics**: Fundamentals, Technologies, and Applications, Third Edition. New York, U.S.A: CRC Press, Taylor e Francis Group, 2012. 728 p.

ETZKOWITZ, H., LEYDESDORFF, L. **Universities and the global knowledge economy**: A Triple Helix of University-Industry-Government Relations. London: Pinter, 1997.

ERENO, D. Pequenos ganham o espaço. **Pesquisa FAPESP**, ed. 219, maio de 2014. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/05/15/pequenos-ganham-o-espaco/> Acesso em: 18 mar. 2015.

FARAH, A. The Ionospheric Delay Effort for GPS Single-Frequency Users-Analysis Study for Simulation. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION - ION GPS-2002, 15., 2002, Oregon, Portland, U.S.A. **Proceedings...Oregon: 2002**. CD-ROM.

FERNANDES, D. **Apontamentos de aula: rádio navegação**. São José dos Campos: ITA, 2006. 65 slides. Disponível em: <http://www.oaviao.com.br/textos_tecnicos/imagens/RadNav_2006_p3.pdf>. Acesso em: 21 set. 2015.

FERNANDO, M.; VALERO, A. **Antenas**. Valência, Espanha: Dep. Comunicaciones - Universidad Politécnica de Valência, 2015. Disponível em: < http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Agrupaciones.pdf >. Acesso em: 13 out. 2015.

FIGUEIRÊDO, D.C. **Curso básico de GPS**. Piracicaba, S.P.: USP, 2005. 49 p. Disponível em <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Angulo/Curso_GPS.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2014.

FILHO, A. C. G. **Inovação sistemática com responsabilidade social nos empreendimentos de base tecnológica**: o modelo MCNS-TRIZ. 296 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 2010.

FILHO, E. A. M.; KUGA, H. K.; LOPES, R. F. L. Real Time Estimation of GPS Receiver clock off set by Kalman filter. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 17., 2003, São Paulo, S.P. **Anais...** São Paulo: 2003.

FERREIRA, C. V.; FORCELLINI, F. A. **Teoria da solução inventiva de problemas**. Florianópolis, UFSC, 2006. 42 slides. Disponível em <http://slideplayer.com.br/slide/295910/>>. Acesso em 7 maio 2015.

FIORIO, P. R.; NUNES, E. J. S.; NAKAI, E. S.; BARROS, P. P. S. **Apontamentos de aula: sistema de posicionamento global (GPS)**. Piracicaba, S.P.: USP, 2013. Disponível em: < http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Fiorio/APOSTILAGPS_pdf.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2015.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance : lessons from Japan** . London, New York: Frances Printer Publishers, 1987. 155 p.

FURTADO, V. H.; GIMENES, R. A. V.; JUNIOR, J.B.C.; JUNIOR, J. R. A. Aspectos de segurança na integração de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro. Em: SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO – SITAER, 7., Rio de Janeiro, R.J., 2008. **Anais...**São Paulo, S.P.: Poli-USP, 2008. P 506-517.

GIZAWY, M. L. E. **Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users**. 161 p. Thesis (Msc thesis - Department of Geomatics Engineering) - University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 2003.

GNSS TECHNOLOGY. **Future air traffic management**. Taufkirchen, Germany: Astrium, [2015?]. Disponível em: < http://www.gnss-technology.com/projects_pals.htm>. Acesso em: 14 out. 2015.

GUALDINO, C. M. R. **Características e desempenho de sistemas de posicionamento global**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa (IST/ULISBOA), Lisboa, Portugal, 2011. Disponível em: < https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142775308/Tese_Claudio_Gualdino.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2015.

HUANG, J. The Development of Inflatable Array Antennas. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, p. 44-50, Aug. 2001. Available in: <file:///E:/atm3_4_02_huang_145_150.pdf>. Access on: 26 aug. 2015.

HUANG, J.; FERIA, A; LOU, M. The Development of Inflatable Array Antennas. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, March 2000, Big Sky, Montana, U.S.A. **Proceedings...**Big Sky, 2000. Available in: <hrcak.srce.hr/file/10146>. Access on: 12 abr. 2015.

INNOSUPPORT. **TRIZ (teoria para a resolução inventiva de problemas)**. Rostok – Warnemünde, Germany: Inno Support, [2015?]. Disponível em: <http://www.innosupport.net/fileadmin/Module_Medien/4_9Medien/4_9_4_2pt/step3.htm>. Acesso em: 12 out. 2015.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (INEMA). **O que é uma PCD?** Adaptado do Eng, Flávio de Carvalho Magina. Salvador, B.A.: INEMA, 2011. Disponível em <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/10/O-que-%C3%A9-uma-PCD.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sistema integrado de dados ambientais (SINDA)**. São José dos Campos, S.P.: INPE, 2015. Disponível em <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004. 312 p.

JÚNIOR, E. S. F. **O Sistema GPS como ferramenta à avaliação da refração ionosférica no Brasil**. 200 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, 2002.

KAMALA, P. R. ; SATYANARAYANA, R.V. Performance Analysis of Forward Error Correction Codes used for Transmission of data considering Failures in Coder/Decoder Circuits. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, Vol. 2, Issue 6, June 2013

KAMNANI, K; SURATKAR, C. A review paper on google loon technique. **International Journal of Research In Science & Engineering**, v. 1, p. 167-171, 2013. Available: <<http://ijrise.org/asset/archive/15SANKALP29.pdf>>. Access in: 23 aug. 2015.

KINTNER, P. M.; LEDVINA, B. M.; PAULA, E. R. GPS and ionospheric scintillations. **Space Weather**, v. 5, 2007. Available in: <http://www.inpe.br/scintec/papers/pm_k_spaceWeather.pdf>. Access on: 20 maio 2015.

KLOBUCHAR, J. A. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v. 23, n. 3, p.325-331, 1987. Available in <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=7>>. Access on: 2 fev. 2015.

KLUGAS, R.W. 272 p. **A superresolution based cellular positioning system using GPS time synchronization**. Ph.D Thesis (Department of Geomatics Engineering) - University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 1997. Available in < http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/GL/97.20114.RKlukas.pdf >Access on: 3 out. 2015.

KOMJATHY, A.; PAJARES, M. H. The IGS global TEC maps: present and future. In: NATIONAL RADIO SCIENCE MEETING, 2004, Boulder, Colorado, U.S.A. **Proceedings**... Boulder, 2004.

KOMJATHY, A.; SPARKS, L.; MANNUCCI, A. J.; XIAOQING, P. An assessment of the current WAAS ionospheric correction algorithm in the south american region. **Journal of the Institute of Navigation**, v. 50, n. 3, p.193-218, 2003. Available in <[https://www.ion.org/.](https://www.ion.org/)>. Access on 18 out. 2014.

KUCHARAVY, D. **TRIZ: methods and tools**. GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE TECHNOLOGY. Strasbourg: 2006. 100p. Available in: <<http://www.seecore.org/d/2006m5dk.pdf>>. Access on: 12 abr. 2015.

LAGO, I. F.; FERREIRA, L. D. D.; KRUEGER, C. P. GPS e GLONASS: Aspectos teóricos e aplicações práticas. **Bol. Cienc. Geod.**, v.8, n. 12, p. 37-53, 2002.

LAURSEN, K; SALTER, A. Open for Innovation: the role of openness in explaining innovation performance among UK manufacturing firms. **Strategic Management Journal**, n. 27, p. 131–150, 21 nov 2005.

LEICK, A. **GPS satellite surveying**. New York: John Wiley & Sons,1995.

LEMASTER, E. GPS on the web: applications of GPS Pseudolites. **GPS Solutions**, v. 6, n. 4, Mar. 2003, p. 268-270, 2003.

MANSFIELD, E. **Contributions of new technology to the economy, in technology, R&D and the economy**. Washington, U.S.A : Bruce Smith e Claude Barfield (The Brookings Institutions),1996.

MARTIN, S; KUHLEN, H; ABT, T. Interference and regulatory aspects of GNSS pseudolites. **Journal of Global Positioning Systems**, v. 6, n. 2, p. 98-107, 2007.

MARTI, R; REINELT, G. **The linear ordering problem: exact and heuristic methods in combinatorial optimization**. Heidelberg, Germany: Springer, 2011. p. 172. ISBN 9783642167287.

MATSUOKA, M. T. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS:** avaliação na região brasileira. 263 p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP), 2007. Presidente Prudente.

MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P. O. **Correção ionosférica utilizando o modelo de Klobuchar e o regional da ionosfera:** avaliação da performance no posicionamento por ponto. Vol.2. Curitiba, PR: Imprensa Universitária, 2002. 395p.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O. Evaluation of Functions for Modelling of the Effect of the Ionospheric Refraction in the Propagation of the GPS Signals. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE NAVIGATION- ION GPS/GNSS-2003,16., 2003, Portland, Oregon, U.S.A. **Proceedings...** Portland, 2003.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O. Cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla frequência para a produção de mapas da ionosfera para a região brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 56/01, p.14-17, 2004.

MILESK, A. **CONASAT:** continuidade do SBCDA. [S.I.] : Panorama Espacial, novembro de 2014. Disponível em: <<http://panoramaespacial.blogspot.com.br/2014/11/conasat-continuidade-ao-sistema-de.html>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

MISRA, P; ENGE, P. **Global positioning system:** signals, measurements, and performance. Lincoln, Massachusetts, U.S.A : Ganga-Jamuna Press, 2001.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS:** descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP, 2000. 291 p.

MUELLA, M. T. A. H. **Morfologia e dinâmica das irregularidades ionosféricas de pequena escala e imageamento ionosférico por GPS.** Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, S.P., 2008.

NEWBY, S.P.; LANGLEY, R.B. Three alternative empirical ionospheric models - are they better than GPS broadcast model?. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING COLUMBUS, 6., 1992, Ohio, U.S.A. **Proceedings...** Ohio, v.1, p. 240-244.

NEWBY, S. P.; LANGLEY, R. B.; JANES, H. W. Ionospheric modelling for single frequency users of the Global Positioning System: a status report. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRECISE POSITIONING WITH GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS), 2., 1990, Ottawa, Ontario, Canada. **Proceedings...** Ottawa: Institute of Navigation ,1990. p.429-443.

NÓBREGA, C.; LIMA, A. R. **Innovatrix: inovação para não gênios**. Rio de Janeiro: Agir, 2010. 163 p.

NYKIEL, G; RACHÓN, L; FIGURSKI, M. Ionospheric scintillations computation using real-time GPS observation. **Artificial Satellites**, v. 49, n. 1, p. 43-53, 2014.

OFICINA DA NET. **Você sabe o que é o GLONASS ?** Desenvolvido por Eduardo Barbian. Porto Alegre, R.S.: Oficina da net, 2013. Disponível em :< <https://www.oficinadanet.com.br/post/10569>>. Acesso em: 16 out. 2015.

OGAJA, C. A. **Applied GPS for engineers and project managers**. Fresno, Califórnia, U.S.A : ASCE Press, 2011. 222 p.

O QUE É. **O que é GPS**. [S.I.] : Tecmundo, 2014. Disponível em: < <http://oqueehol.es/o-que-e-gps/>>. Acesso em: 7 out. 2015.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO (OECD). **Manual de Oslo: proposta de diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. 2ª edição. Oslo, Noruega: OECD, 1997. Disponível em: <<http://www.ufal.edu.br/empreendedorismo/downloads/manuais-guias-cartilhas-e-documentos-sobre-empreendedorismo-e-inovacao/manual-de-oslo>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

PARKINSON, B. W.; SPILKER, J. J. J.; AXELRAD, P; ENGE, P. **Global positioning system: theory and applications**. Volume I. Washington, U.S.A: American Institute of Aeronautics, 1996. ISBN: 978-1563471070.

PETOVELLO, M. How does a GNSS receiver estimate velocity? **GNSS solution**, march/abril2015, p.40. Available in: <www.insidegnss.com>. Access on: 2 set. 2015.

PETRIE, E. J.; PAJARES, M.H.; SALLA, P.; MOORE, P.; KING, M. A. A. Review of higher order ionospheric refraction effects on dual frequency GPS. **Surv Geophys**, n.32, p. 197-253, 2011.

PETROV, V. Traduzido do original em russo: “**O surgimento e desenvolvimento de normas materiais sobre a história da TRIZ**”. Tel’ Aviv, Israel: [s.n], 2007. Disponível em: < www.temm.ru/file.php/id/f4508/.../Innovation%20Technology-max.pdf > Acesso em: 6 out. 2014.

PORTAL DO CONHECIMENTO. **TRIZ (Teoria para a solução inventiva de problemas)**. São Paulo, S.P.: USP, 2008. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/9507>. Acesso em: 3 out. 2015.

POZ, W. R. D. **Posicionamento relativo na região equatorial em diversas condições ionosféricas**. 161 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP), Presidente Prudente, 2005.

PRASAD, R.; RUGGIERI M. **Applied satellite navigation using GPS, Galileo, and augmentation systems**. Boston: Artech House, 2005.

PUGH, S. **Concept selection** (Based on Work of Professor Stuart Pugh “DESIGN DECISION – HOW TO SUCCEED AND KNOW WHY”). Webster, N.Y.: Design Institute Xerox Corporation, 1987. 31 p.

PUGH, S. **Total design: integrated methods for successful product engineering**. Wokingham, England UK: Addison-Wesley Publishing Company, 1991. 296 p. ISBN 0201416395.

RIBEIRO, J.A.J. **Engenharia de antenas: fundamentos, projetos e aplicações**. São Paulo, S.P.: Érica, 2012.

RODRIGUES, F. S. R. **Estudo das irregularidades ionosféricas equatoriais utilizando sinais GPS**. 151 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.18.19.24>>. Acesso em: 19 out. 2015.

RUVIARO, J. S.; MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O. Análise global dos efeitos provocados pela explosão solar de 28 de outubro de 2003 no TEC e no posicionamento por ponto. **Revista Brasileira de Cartografia** (online), v. 65, p. 211-226, 2013. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/519>. Acesso em: 24 jun.2015.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York, U.S.A: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. **Theory and applications of the analytic network process: Decision making with benefits, opportunities, costs, and risks**. Pittsburgh, U.S.A: RWS, 2005.

SABSUD, M.C.C. **Sistemas espaciais de navegação e o impacto do efeito doppler no “geolocal”**. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), Santa Rita do Sapucaí, M. G., dezembro de 2008.

SALOMONI, C. S. **GPS e ionosfera: estudo do comportamento do TEC e de sua influência no posicionamento com GPS na região brasileira em períodos de alta e baixa atividade solar**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.

SANTOS, M. A. F., FRANCISCO, M. F. M.; YAMAGUTI, W. O Sistema Nacional de Dados Ambientais e a coleta de dados por satélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., Foz do Iguaçu, P.R, 2013. **Anais...** São José dos Campos, S.P.: INPE, 2015. p. 9116-9123. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1309.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

SANTOS, V. H. O., GOMES, S. R. O. Satélites artificiais: fundamentos físicos e utilidades. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, 9., Currais Novos, R.N., 2013. **Anais...** Natal, R.N.: Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), 2013. p. 1351-1361. Disponível em < <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/777/326>>. Acesso em: 10 set. 2015.

SCHOENKNECHT, E. **Medição de distância com o uso de laser**. Porto Alegre, R.S.: Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

SEEBER, G. **Satellite geodesy**. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co, 2003. 610 p. Available in: <https://uqu.edu.sa/files2/tiny_mce/plugins/filemanager/files/4260086/8/Satellite%20Geodesy.pdf> . Access in: 22 abr. 2015.

SHANMUGAM, S.; JONES, J.; MACAULAY, A. Evolution to Modernized GNSS Ionospheric Scintillation and TEC Monitoring. In: IEEE/ION PLANS, Session B2A , p..24-26. **Proceedings...**Manassas, U.S.A: ION, 2012. Available in: <http://www.ion.org/plans/>> Access on: 2 sep. 2015.

SILVA, A. B. C.; PEREIRA, W. N. A.; YAMAGUTI, W. Localizador GPS com criptografia de dados. Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SSR), 14., Natal, R.N., 2009. **Anais...** São José dos Campos, S.P.: INPE, 2009. p. 1617-1624. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/008/11.1714.36/doc/1617-1624.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2015.

SILVA, A. B. C.; YAMAGUTI, W.; KUGA, H. K.; CELESTINO, C. C. Avaliação da influência da ionosfera no erro de localização de plataformas de coleta de dados no período de alta e baixa atividade solar. Em: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SSR), 15., Curitiba, P.R., 2011. **Anais...** São José dos Campos, S.P.: INPE, 2011. p. 8946.

SILVA, L. B. C.; CHAMON, M. A. **Cálculo de enlace para sistemas de comunicação digital via satélite**. São José dos Campos: INPE, 2004. 45 p. Disponível em: <<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2004/11.22.15.40/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2015.

SOUSA, C. T. **Geolocalização de transmissores com satélites usando desvio doppler em tempo quase real**. 2000. 185 p. (INPE- 8391-TDI/771). Tese (Doutorado em Mecânica Espacial e Controle) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2000. Disponível em < <http://urlib.net/6qtX3pFwXQ23r59YCT/H35np>>. Acesso em: 8 out. 2015.

SOUZA, C. C.; KUGA, H. K.; SETZER, H. W. Localização de transmissores através de satélites para Sensoriamento Remoto. Em: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., Foz do Iguaçu, P.R., Abril 2001. **Anais...** Foz de Iguaçu: 2001. p.869-876.

SKONE, S. **Wide area ionosphere grid modelling in the auroral region**. 198 f. Ph.D Thesis (Department of Geomatics Engineering) - University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 1998.

SKONE, S. Wide area ionosphere modeling in the equatorial region during a magnetic storm event. In: ION NATIONAL TECHNICAL MEETING. Anaheim, California, U.S.A., 2000. **Proceedings...** Anaheim, 2000. p. 481–489.

SKONE, S.; LACHAPELLE, G.; YAO, D.; YU, W.; WATSON, R. Investigating the Impact of Ionospheric Scintillation using a GPS Software Receiver. In: ION GNSS CONFERENCE, 2005, Long Beach, Califórnia, U.S.A. **Proceedings...** Long Beach: September 2005. p.13-16.

SKONE, S.; MAN, F.; GHAFUORI, F.; TIWARI, R. Scintillation characteristics for high latitude phenomena. In: ION GNSS CONFERENCE, Session D5, 16-19 September, 2008, Savanna, Geórgia, U.S.A. **Proceedings...** Galgary, Canadá: University of Galgary, 2008. 9p.

SLIDESHARE. Sete maneiras: processo de seleção de ideias. Adaptado de Marcelo Chirai. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: < http://pt.slideshare.net/laraCrissiumal/capa-folder?next_slideshow=1>. Acesso em: 16 out. 2015.

SOLID CREATIVITY. **TRIZ 40**. Bordeaux, França: [S.l.: s.n.], 2015. Available in: < http://www.triz40.com/TRIZ_GB.php>. Access on: 22 sep. 2014.

SSPI/BRASIL. **Cintilação ionosférica**. Rio de Janeiro, R.J.: StarOne [2015?]. Desenvolvido por Paulo Bertram dos Santos Reis Vieira. Disponível em: < http://www.sspi.com.br/portal/images/stories/pdfs/tutoriais/Cintilacao_%20Ionosferica.pdf>. Acesso em: 4 out. 2015.

STARVIEWERTEAM. **El aspect de la ionosfera y su posible relación com las anomalias atmosféricas**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: < <http://starviewerteam.com/2012/04/05/el-aspecto-de-la-ionosfera-y-su-posible-relacion-con-las-anomalias-atmosfericas/>>. Acesso em: 12 out. 2015.

STRANG, G.; BORRE, K. **Linear algebra, geodesy and GPS**. Wellesley, EUA: Wellesle-Cambridge Press, 1997. 624p.

TETHER, B.S. Who co-operates for innovation, and why: an empirical analysis. **Research Policy, Elsevier Journal**, n. 31(6), p. 947-967, August 2002.

TIMBÓ, M. A. **Levantamento através do sistema GPS**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2000. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/cart01/levantamentogps_timbo.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2015.

TONELLI, D. F.; ZAMBALDE, A. L. Da pesquisa à inovação tecnológica: o estudo da trajetória de uma pesquisa até a efetivação de uma inovação. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)**, v. 4, n. 2, nov. 2005.

TORNATZKY, L. G.; FLEISCHER, M. **The processes of technological innovation**. Lexington, Massachusetts, U.S.A : Lexington Books, 1990.

UGAZIO, S. **Higt-performance velocity, frequency and time estimation using GNSS**. Thesis (Research Doctorate Course in Electronics and Communications) - Politecnico di Torino, Torino, Itália, 2013.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS (UNICAMP). **Medição de nível, interface e viscosidade de líquidos**. Campinas, S.P.: UNICAMP, 2015. 18 p. Disponível em : <http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Nivel_Viscosidade>. Acesso em:10 abr. 2015.

UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA (UNIVAP). **Instituto de pesquisa e desenvolvimento (IP&D)**. Desenvolvido por pesquisadores do grupo de Física Espacial do Laboratório de Física e Astronomia. São José dos Campos, S.P.: UNIVAP, 2015. Disponível em:< http://www.univap.br/dialogoinformativo/2010/em_03_09_mai/lab_fisica_astronomia.html>. Acesso em 19 out. 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). **Projeto de arquitetura**. São Paulo, S.P.: UNESP, 2005. Disponível em: < http://www.dcce.ibilce.unesp.br/~ines/cursos/eng_soft/aula08.PDF>. Acesso em: 14 out. 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” (UNESP). **Ionosfera**. Desenvolvido por Fabricio dos Santos Prol e Daniele Barrocá Marra Alves. Presidente Prudente, S.P.: UNESP, 2013. Disponível em:< <http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/aspectos-teoricos/ionosfera/>>. Acesso em 5 nov. 2014.

VIANNA, D. S. **Auxílio multicritério à decisão**. Rio de Janeiro, R.J.: Universidade Federal Fluminense (UFF), 2015. 32 slides. Disponível em: <www.professores.uff.br/dalessandro/download/amd/AHP.pptx> Acesso em: 11 ago.2015.

WANG, T.; HU, J.; CHEN, J.; ZHUANG, S. A Refraction Doppler Measurement Method. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REVISION ENGINEERING MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION, 7., 2011,China. **Proceedings**... China, 2011. v. 8321.

WANG, Z; WU, Y; ZHANG,K; MENG, Y. Triple-frequency method for high-order ionospheric refractive error modelling in GPS modernization. **Journal of Global Positioning Systems**, v. 4, n. 1-2, p. 291-295, 2005.

WANNINGER L.; SEEBER, G.; CAMPOS, M.A. Use of GPS in the south of Brazil under severe ionospheric conditions. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY SYMPOSIUM,111, Heidelberg, Gernany, 1991. **Proceedings**... Heidelberg, 1991.

WANNINGER L.; SEEBER, G.; CAMPOS, M.A Limitations of GPS in equatorial regions due to the ionosphere. Em: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, P.R. **Anais**... Curitiba: 1993.

WARNANT, R; POTTIAX, E. The increase of the ionospheric activity as measured by GPS. **Earth Planets Space**, n. 52, p. 1055–1060, 2000.

WELLENHOF, B. H.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **Global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.** New York, U.S.A : Springer Wien, 2008. 518 p. ISBN: 3211730125.

WILLMAN, J.F. Frequency-dependent ionospheric refraction effects on the doppler shift of satellite signals. **IEEE Transactions on aerospace and Electronic Systems**, v. 1, n. 3, p. 283-289, December 1965.

WIKIPÉDIA. **Zona de Fresnel.** [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel>. Acesso em: 18 out. 2015.

YAMAGUTI, W.; ORLANDO, V.; PEREIRA, S. P. Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e planos futuros. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 14., 2009, Natal, R.N. **Anais...** São José dos Campos, S.P.: INPE, 2009. Artigos, p. 1633-1640.

ZANDONÁ, D. F.; LINGNAU, C.; NAKAJIMA, N. Y. Varredura a laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 80, p. 295-306, Dez. 2008.

ZANG, J. **Precise velocity and acceleration determination using a standalone GPS receiver in real time.** Melbourne, Austrália: Royal Melbourne Institute of Technology, 2007. 220 p.

ANEXO A – EXEMPLO DE TABELA DE PARÂMETROS DE ENGENHARIA (CONT/TRIZ)

Tabela A.1 – Exemplo de tabela de parâmetros de engenharia (TRIZ)

Resultado Indesejado	Característica a alterar	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Confiabilidade	Precisão de medição	Precisão de fabricação	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	Fatores indesejados causados pelo objeto	Manufaturabilidade	Conveniência de uso	Manutenção	Adaptabilidade	Complexidade do objeto	Complexidade de controle	Nível de automação	Capacidade ou produtividade
27	Confiabilidade		32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26		27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
28	Precisão de medição	5, 11, 1, 23			28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
29	Precisão de fabricação	11, 32, 1			26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
30	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18			24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24
31	Fatores indesejados causados pelo objeto	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26							19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
32	Manufaturabilidade		1, 35, 12, 18		24, 2			2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
33	Conveniência de uso	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39		2, 5, 12		12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
34	Manutenção	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15		7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10
35	Adaptabilidade	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31		1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4		15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
36	Complexidade do objeto	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37		15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37	Complexidade de controle	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28		34, 21	35, 18
38	Nível de automação	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25		5, 12, 35, 26
39	Capacidade ou produtividade	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	

Fonte: Adaptado de TRIZ 40 (2015)

ANEXO B – TABELAS DE PADRÕES INVENTIVOS (SUFIELD/TRIZ/ GPS)

Tabela B.1 – Subdivisão dos 76 padrões inventivos

1. Melhorar o sistema sem ou com poucas alterações	13 soluções padrão
2. Obter melhora por mudança no sistema	23 soluções padrão
3. Transição de sistemas	6 soluções padrão
4. Detecção e medida	17 soluções padrão
5. Estratégias de simplificação e melhoria	17 soluções padrão
<i>Total:</i>	76 soluções padrão

Fonte: BAMBACE (2015)

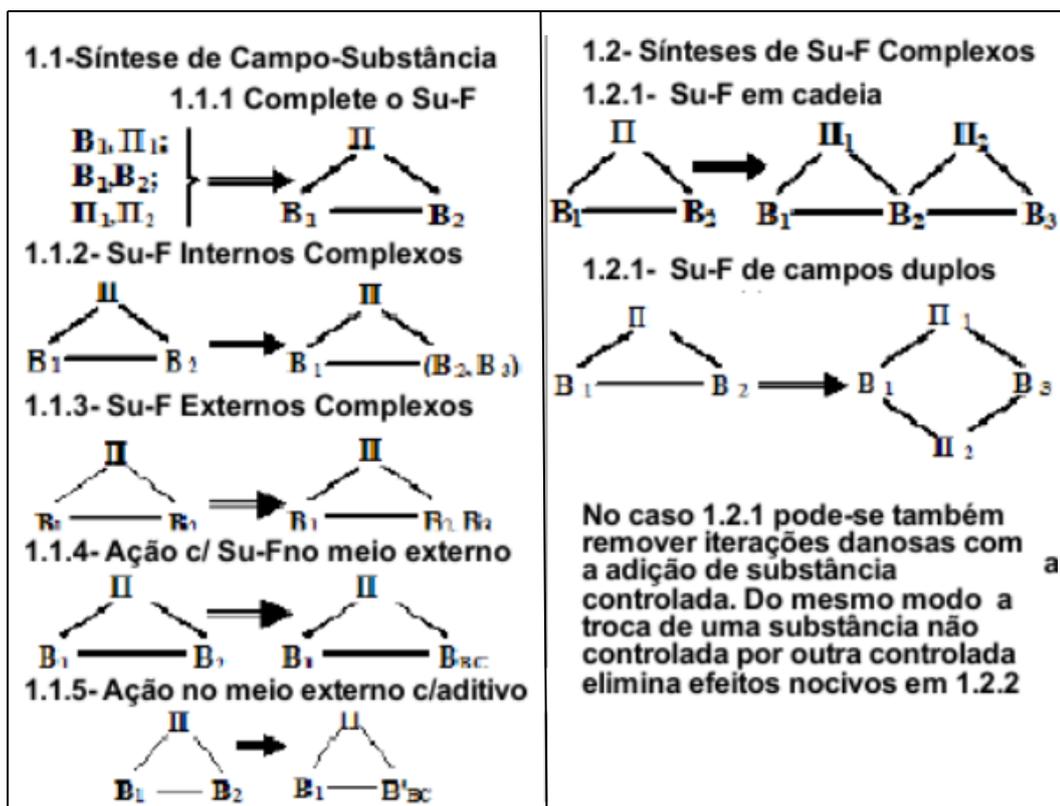


Figura B.1 – Padrões inventivos (melhorar o sistema)

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

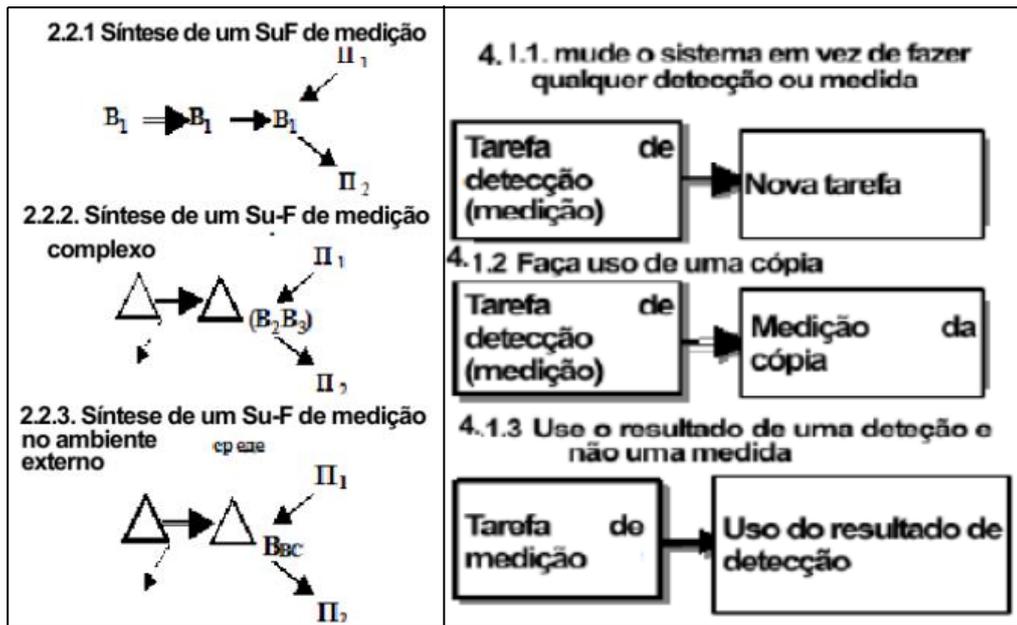


Figura B.2- Padrões inventivos (mudança /detecção e medida)

Fonte: Adaptado de Petrov (2007)

APÊNDICE A - TABELA DE REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS (CONT/TRIZ/GPS)

Tabela A.1.1 – Referências às propostas (CONT/TRIZ/GPS)

PRINCÍPIO INVENTIVO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Mudança de parâmetros e propriedades (35)	X		X	X	X	X	X	X	X						
Ação prévia (10)		X		X		X	X	X							
Substituição de meios mecânicos (28)										X	X				
Mudança de cor (32)					X										
Segmentação ou fragmentação (1)	X	X										X	X	X	X
Cópia (26)								X				X		X	
Remoção ou extração/ (2)	X		X		X			X				X			
Mudança de simetria (4)		X				X		X				X	X		
Ação periódica (19)					X		X			X	X	X	X	X	X
Uso e descarte (27)					X		X		X	X	X	X	X	X	X
Inversão (13)												X			
Transformação de prejuízo em lucro (22)							X	X			X	X			X
Mediação (24)		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
TOTAL	3	4	2	3	6	4	5	7	3	4	5	9	5	5	5

APÊNDICE B - TABELA DE REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS (SUFIELD/TRIZ/GPS)

Tabela B.1.1 – Referências às propostas (*SuField*/TRIZ /GPS)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Q1	X	X	X											X	X
Q2	X									X	X	X	X	X	X
Q3							X			X					X
Q4					X			X			X	X			
Q5					X					X		X		X	X
Q6					X					X					
Q7					X			X	X			X	X	X	
Q8							X				X				X
Q9							X				X		X	X	X
Q10					X						X	X	X	X	
Q11								X	X			X			X
Q12				X						X					X
Q13					X		X			X	X		X		X
Q14		X		X	X		X			X	X		X		X
Q15	X						X				X	X		X	X
Q16		X	X												
Q17									X						
Q18				X											X
Q19								X	X	X					
Q20		X			X	X		X		X		X	X		X

(Continua)

Tabela B.1.1 – Continuação

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Q21		X			X	X		X		X		X	X		X
Q22		X	X											X	
R3.1							X				X				
R3.2	X														
R3.3														X	
R3.4														X	
R3.5												X		X	
P1.1.5		X				X		X				X			
P1.2.1					X				X				X		
P1.3.2					X				X				X		
P2.2.1		X				X		X				X		X	
TOTAL	4	8	3	3	11	4	7	8	6	10	9	12	10	12	14
PRINCIPIO INVENTIVO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
TOTAL Matriz de contradição	3	4	2	3	6	4	5	7	3	4	5	9	5	5	5
TOTAL Sufield	4	8	3	3	11	4	7	8	6	10	9	12	10	12	14
TOTAL GERAL	7	12	5	6	17	8	12	15	9	14	14	21	15	17	19
LEGENDA:															
Q – QUESTIONAMENTO															
R – RESULTADO FINAL IDEAL															
P – PADRÃO INVENTIVO															

APÊNDICE C – TABELA DE PRINCÍPIOS INVENTIVOS ESSENCIAIS (CONT/TRIZ/GPS)

Tabela C.1 – Princípios inventivos essenciais (CONT/TRIZ/GPS)

PRINCÍPIO INVENTIVO	SOLUÇÕES GERADAS	SELEÇÃO PUGH (9)	SELEÇÃO TRIZ (8)	SELEÇÃO TRIZ/PUGH (11)	SELEÇÃO PARCIAL AHP (9)	SELEÇÃO FINAL AHP (4)
Mudança de parâmetros e propriedades (35)	P6/P7/P8/P9	P7	P8	P7/P8	P7	Não
Ação prévia (10)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Substituição de meios mecânicos (28)	P10/P11	P10	P10/P11	P10/P11	P10/P11	P10
Mudança de cor (32)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Segmentação ou fragmentação (1)	P12/P13 P14/P15	P12/P13 P14/P15	P12/P13 P14/P15	P12/P13 P14/P15	P12/P13 P14/P15	P12/P14
Cópia (26)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Remoção ou extração/ (2)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Mudança de simetria (4)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Ação periódica (19)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Uso e descarte (27)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Inversão (13)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Transformação de prejuízo em lucro (22)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não
Mediação (24)	REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS EXISTENTES	Não	Não	Não	Não	Não

APÊNDICE D – TABELA DE CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO SUFIELD (TRIZ/GPS)

Tabela D.1 – Contribuições do método de *SuField* (TRIZ/GPS).

PASSOS	APLICAÇÃO
1.1 – Formular o problema	Realizado
1.2 – Definir os elementos em conflito e recursos.	Foram encontrados vinte e dois (22) recursos que poderiam ser aplicados em propostas de soluções.
1.3- Descrever a contradição técnica com modelos gráficos.	Realizado
1.4- Selecionar modelo adequado a análises mais completas.	Realizado
1.5- Intensificar o conflito pela ação do estado extremo dos elementos.	Realizado
1.6- Descrever o modelo do problema indicando: o par em conflito, a definição de conflito intensificado, o que o produto mágico deve fazer para resolver o problema	Apesar de não surgirem novas propostas, foram referenciadas várias propostas de soluções da matriz de contradição.
1.7- Aplicar padrões inventivos.	Realizado no PASSO 3.
2. Analisar o modelo do sistema.	Foram definidos os recursos de campo e substância disponíveis (SFR), o tempo (OT) e a zona de operação (OZ).
3. Definir o resultado final ideal (ifr) e contradição física (PhC). Aplicar padrões inventivos.	Foram referenciadas várias propostas de soluções pelos ifr, PhC e padrões inventivos.
4. Mobilize e use recursos sfr do sistema, super-sistema para implementar o conceito.	Não realizado por ser considerado dispensável para a solução.
5, Aplicar da base de conhecimento.	Foi realizada na revisão da literatura e durante toda a aplicação do método.
6. Modificar ou substituir o problema	Não realizado por ser considerado dispensável para a solução.
7. Verificar o conceito de solução.	Realizado.
8. Aplicações da solução encontrada.	Realizado.
9. Análise do processo de solução completo.	Realizado.
Observação: Apesar de não gerar novas propostas de solução, o método de campo e substância realizou muitas referências às soluções da matriz de contradição.	

APÊNDICE E- TABELA DE REFERÊNCIAS ÀS PROPOSTAS (CONT/TRIZ/PCD)

Tabela E.1 – Referências às propostas (CONT/TRIZ/PCD)

PRINCÍPIO INVENTIVO	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29
Substituição de meios mecânicos (28)	X	X	X	X	X									
Ação prévia (10)	X	X	X	X	X	X								
Cópia (26)	X		X	X			X							
Mudança de cor (32)	X		X		X									
Mudança de parâmetros e propriedades (35)	X		X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Remoção ou extração/ (2)	X		X	X						X			X	X
Qualidade localizada (3)	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	
TOTAL	7	3	7	6	5	2	1	2	1	3	2	2	3	2

APÊNDICE F – TABELA DE PRINCÍPIOS INVENTIVOS ESSENCIAIS (CONT/TRIZ/PCD)

Tabela F.1 – Princípios inventivos essenciais (CONT/TRIZ/PCD)

PRINCÍPIO INVENTIVO	SOLUÇÕES GERADAS	SELEÇÃO FINAL TRIZ (2)
Substituição de meios mecânicos (28)	P18/P19/P20	P18/P19
Ação prévia (10)	P21	Não
Cópia (26)	P22	Não
Mudança de cor (32)	REFERÊNCIAS ÀS POPOSTAS EXISTENTES	Não
Mudança de parâmetros e propriedades (35)	P23/P24/P25/P26/P27	Não
Remoção ou extração/ (2)	REFERÊNCIAS ÀS POPOSTAS EXISTENTES	Não
Qualidade localizada (3)	REFERÊNCIAS ÀS POPOSTAS EXISTENTES	Não
Transformação de prejuízo em lucro (22)	REFERÊNCIAS ÀS POPOSTAS EXISTENTES	Não
Mediação (24)	REFERÊNCIAS ÀS POPOSTAS EXISTENTES	Não