

Uma Abordagem Baseada em Modelagem Conceitual Unificada Aplicada ao Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto em Engenharia Simultânea de Sistemas

dos Santos, C. A. M. B.

Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais (CSE)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, SP, Brasil
carlos.amsantos@gmail.com

Kienbaum, G. S., Phd

Lab. Associado de Comp. e Matemática Aplicada (LAC)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, SP, Brasil
kienbaum@uol.com.br

Resumo— Este trabalho propõe uma abordagem sistemática para a construção de modelos e análise de processos do ciclo de vida de produtos de sistemas complexos (produtos e/ou serviços), utilizando, de uma forma integrada e unificada, diferentes técnicas, tais como: gerenciamento de projeto, gestão de processos de negócios e simulação. O processo de modelagem visa à criação de um modelo de referência unificado desde ser início, fazendo uso de representações multifacetadas e consistentes entre si, com o objetivo de se obter benefícios complementares resultantes da aplicação de visões disciplinares diferenciadas. A abordagem é demonstrada fazendo uso de um modelo acadêmico, descrevendo uma livreria on-line, mas prevê aplicações para sistemas reais e seu uso no gerenciamento do ciclo de vida de produtos em geral.

Keywords—*modelagem conceitual unificada; gestão do ciclo de vida do produto; gestão de processos de negócio; simulação de processos; ciência e tecnologia de processos*

I. INTRODUÇÃO

Ciência e Tecnologia de Processos (CTP) é a designação dada pelos autores [10] para uma ciência transdisciplinar emergente que aborda a integração e unificação de conceitos e técnicas, que foram originadas e são tradicionalmente usados em diversas áreas científicas autônomas, tais como: Engenharia de Sistemas (Systems (Concurrent) Engineering - SE), Gerenciamento de Projetos (*Project Management - PM*), Gestão de Processos de Negócios (Business Process Management - BPM) e Simulação.

O escopo de pesquisa desta área de estudo unificada emergente é o ciclo de vida completo de produtos e serviços de sistemas complexos: modelagem, construção, simulação, automatização, gestão e melhoria contínua dos processos de SE, descrito como a integração dos processos de desenvolvimento de produtos e de gestão da organização, por meio da criação de uma metodologia unificada e suas ferramentas de apoio.

Esta metodologia unificada, para a condução de um estudo em CTP, consiste na construção e na aplicação de

conhecimentos teóricos e de técnicas (de uma maneira integrada e unificada - transdisciplinar) para a solução de problemas complexos envolvendo processos a eventos discretos. O principal foco é o desenvolvimento de um modelo conceitual/comunicativo unificado dos processos do sistema (produto e organização) em questão e sua utilização para implementar diferentes aplicações, de acordo com visões originárias de várias disciplinas, e possibilitar a análise integrada, construção, operação, gestão e melhoria contínua destes modelos de processos e dos sistemas que eles representam.

Este trabalho descreve e ilustra uma parte da metodologia para a modelagem em estudo de CTP, especialmente os aspectos relacionados com o Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (*Product Lifecycle Management - PLM*) pela organização. O aspecto de SE, engenharia de produto, não é abordada no artigo. O objetivo é realizar o PLM fazendo uso simultâneo de PM, BPM e técnicas de simulação, para alcançar os benefícios complementares de sua aplicação conjunta.

II. MODELAGEM CONCEITUAL UNIFICADA PARA ANÁLISE DE PM, BPM E SIMULAÇÃO

A Figura 1 apresenta a abordagem da Modelagem Conceitual Unificada para aplicações conjuntas das disciplinas ou dimensões de PM, BPM e Simulação proposta pelos autores.

Os retângulos arredondados são os processos de transformação e os cilindros representam repositórios contendo o conhecimento lógico disponível sobre o sistema (bancos de dados com a descrição do modelo) em um ponto específico no tempo. O modelo de processo unificado implementado é o modelo criado pela fase de implementação do Modelo Conceitual Unificado e ele pode consistir de diagramas, descrições textuais e aplicativos, com diferentes formas, como sugerido em Onggo [5], sendo que cada uma destas formas está relacionada com uma disciplina específica ou visão de mundo diferenciada.

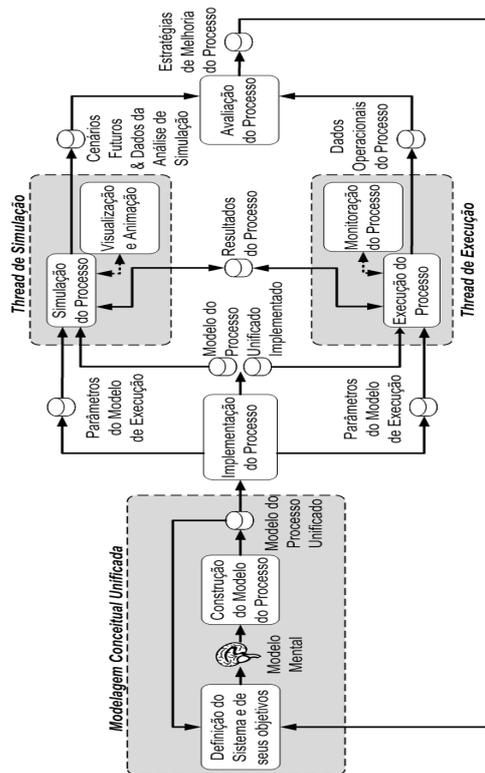


Fig. 1. A abordagem unificada para PM, BPM e Simulação

Na abordagem proposta, a simulação é o centro do ciclo de vida do modelo de processos, diferentemente de procedimentos tradicionais do tipo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), como por exemplo, o descrito por Naidoo e Muhlen [3], que colocam a simulação como uma ferramenta independente e acessória, a ser utilizada no final do ciclo de vida do modelo, auxiliando apenas na sua avaliação, validação e aperfeiçoamento.

Na abordagem unificada proposta os modelos de PM, BPM e Simulação são apenas pontos de vista diferentes do mesmo artefato, o modelo de referência; PM, BPM e Simulação são apenas diferentes fases ou perspectivas de modelagem pertencentes a um processo unificado. Análises do modelo e suas revisões são realizadas de acordo com cada uma dessas perspectivas de modelagem, visando uma análise mais completa e a obtenção dos benefícios complementares da aplicação conjunta dessas áreas de estudo, geralmente consideradas como disciplinas autônomas.

O ciclo inicia-se com a definição do sistema e dos objetivos do estudo, que determinam o escopo do modelo a ser construído. A especificação da estrutura lógica do modelo de processos representativos do ciclo de vida do produto, integrado como o modelo de processos da gestão da organização (modelo de processos unificado do sistema), construído de acordo com os objetivos do estudo, são os principais produtos desta fase. Os artefatos produzidos são: o modelo unificado mental ou conceitual (juntamente com os limites do sistema), os parâmetros de controle do modelo e eventuais premissas e restrições adicionais.

O modelo conceitual unificado ou modelo mental é um conceito que precisa ser entendido como o conteúdo lógico do funcionamento do sistema levando em consideração os objetivos do estudo. O conceito de modelo mental é semelhante aquele apresentado na metodologia cônica de Nance para construção do modelo conceitual, cuja concepção é feita antes da criação do modelo comunicativo, na realização de estudos de simulação [4].

Além da ideia de um modelo conceitual unificado que engloba tanto os processos de desenvolvimento do produto quanto os processos de gestão da organização (processos unificados do sistema), outra diferença importante presente na abordagem, em relação à formulação da modelagem multifacetada apresentada por Onggo [5], é que todas as representações do modelo desenvolvidas devem se manter consistentes com um modelo único de referência que é criado no início do processo de modelagem.

O modelo de referência é criado fazendo uso de ULMD (*Unified Lifecycle Modeling Diagrams*), uma notação baseada em uma extensão de DCAs (*Diagramas de Ciclo de Atividade*) [8] e diagramas do tipo PERT (*Project Evaluation and Review Technique*), originalmente proposta em Travassos com a denominação de USMD (*Unified Simulation Modeling Diagrams*) [12]. O uso de ULMD é fundamental para o método, para garantir a unicidade e consistência do modelo conceitual, bem como dos modelos comunicativos a serem desenvolvidos posteriormente utilizando vários tipos de notações.

O próximo passo é a construção de vários modelos de processos comunicativos do sistema, transformando o modelo conceitual descrito em ULMD para outras representações de diferentes formatos, tais como gráficos de fluxo de trabalho e outros tipos de técnicas de diagramação, como exemplificado por PERT, diagramas de atividade UML ou diagramas Petri-net, BPD (*Business Process Diagrams*), etc.

Os modelos comunicativos de processo passam por uma terceira etapa de transformação, a implementação ou programação dos modelos, gerando modelos implementados ou aplicativos que podem ser visto como sistemas a serem executados de acordo com dois diferentes fluxos de controle: um para a execução do processo em modo de produção, contendo funcionalidades que permitem o gerenciamento do sistema em tempo real e outro para a simulação do modelo de processos, contendo funcionalidades para a elaboração do projeto de experimentos e análise de diferentes cenários. Ambos os segmentos são alimentados pelo modelo de processos unificado, produzido a partir do conjunto de modelos comunicativos e, em caso de implementações diferentes, verificados para avaliar a sua consistência e validade cruzada, tendo como base as especificações do sistema. Os dados coletados durante a operação do sistema real são utilizados como dados de entrada para execução do modelo de simulação, tornando mais fácil a validação e projetando cenários futuros mais confiáveis.

Os resultados das duas linhas de execução (execução de processos / simulação de processo) fornecem informações para a próxima fase do processo de análise e avaliação. A etapa de análise e avaliação do processo devem ser realizadas de

acordo com os diversos pontos de vista e disciplinas, fazendo uso de métricas apropriadas, com o objetivo de melhoria contínua do modelo de processos, reiniciando o ciclo.

III. O PROBLEMA DA LIVRARIA ON-LINE

O estudo de caso escolhido para demonstrar a aplicação da metodologia proposta neste trabalho é uma hipotética livraria on-line, conforme apresentado em Aalst [1].

O modelo de processo da Livraria virtual pode ser decomposto em três diferentes subprocessos, cada um correspondendo a diferentes classes de entidade ou participantes do processo: os clientes (*Customers* ou *Clients*), a própria Livraria on-line (*Bookshop*) e a editora (*Publisher*).

Os clientes acessam a página da Livraria On-line através da Internet. Inicialmente, o Cliente coloca uma ordem para um livro por meio do preenchimento de um formulário e um cadastro com seus dados pessoais, feito pelo sistema. A Livraria envia o pedido do cliente para um editor, que irá verificar se o livro existe em estoque. A Editora envia uma mensagem para a Livraria com a informação solicitada e, se o livro não estiver disponível, a Livraria on-line comunica esse fato ao Cliente e o processo é encerrado. Se o livro está disponível, a Livraria on-line fornece esta informação ao Cliente e paga antecipadamente a Editora, que envia o livro diretamente para o Cliente e notifica a Livraria do fato. A Livraria envia a fatura para o Cliente, que paga a Livraria em seguida e todo o processo é concluído.

IV. MODELAGEM CONCEITUAL UNIFICADA E O MODELO DE REFERÊNCIA

O modelo de referência é criado no início do processo de modelagem, fazendo uso da notação ULMD, e é usado para manter a consistência dos modelos de PM, BPM e de Simulação, a ser criados posteriormente, fazendo uso das ferramentas apropriadas. A Figura 2 apresenta o modelo de referência do problema da Livraria On-line.

As cores verde, vermelho e azul estão associadas às principais entidades envolvidas: o *Customers (Client)*, o *Bookshop* e a *Publisher*, respectivamente. Os quadrados são macro processos ou atividades individuais (transformações que requerem tempo real para ser executadas) e os círculos representam as filas ou a localização exata em que cada uma das entidades (ou fluxo de controle) se encontram em um dado momento em relação ao percurso total a ser realizado por elas ao longo do ciclo de vida do processo. Na realidade, pode-se pensar nesses locais como bancos de dados ou repositórios de conhecimento transportados ou produzidos pela entidade naquele ponto específico de sua trajetória e o conjunto completo desses bancos de dados como o modelo descritivo (estrutural), enquanto o mapa do processo mostra o modelo dinâmico correspondente ao processo de evolução do produto ao longo de seu ciclo de vida. Se um produto complexo está em construção, pode-se pensar que uma representação completa (incluindo os aspectos funcionais do produto, utilizando-se, por exemplo, a notação SysML) poderia ser um artefato produzido por uma atividade de transformação em

algum momento ao longo do fluxo de trabalho do processo de desenvolvimento do produto.

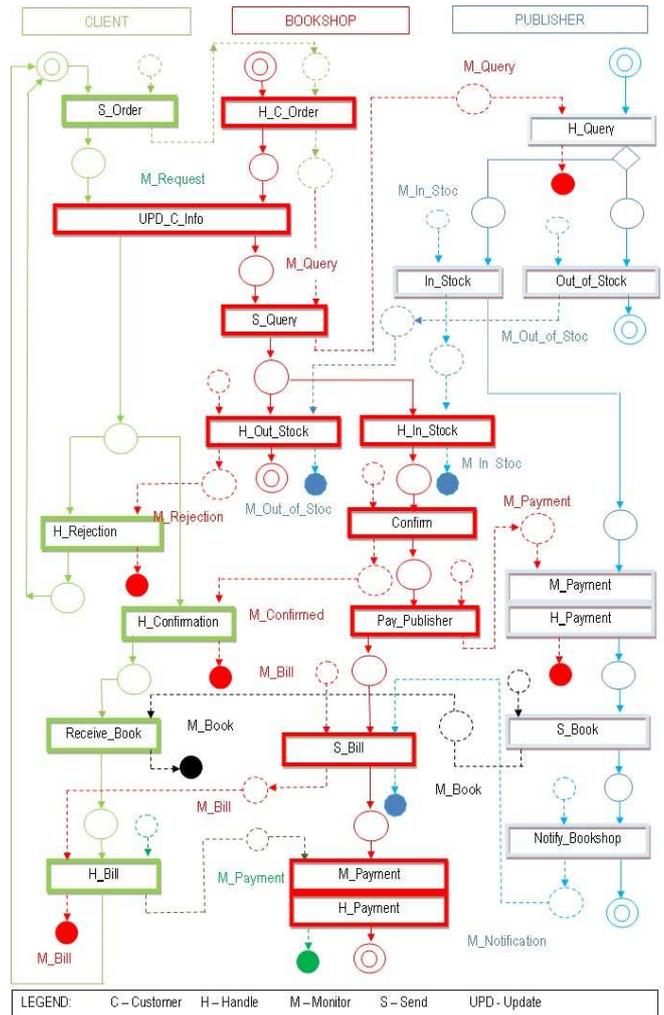


Fig. 2. Modelo de Referência da Livraria On-line

Este tipo de diagrama mostra aspectos importantes da lógica do modelo, tais como: as principais entidades que estão envolvidas, o fluxo de controle, a comunicação entre os processos individuais, as filas do sistema e os recursos que são necessários para a realização ou responsáveis pela execução de cada atividade. No caso de *Customer*, apenas um indivíduo de cada vez é responsável por uma determinada atividade que está sendo executada pertencente ao processo representativo do seu ciclo de vida, mas outras entidades responsáveis pela execução de outras atividades do seus respectivos ciclos de vida podem ter múltiplos recursos a ela associados, o que poderia significar que várias instâncias de uma ordem ou de outro tipo de entidade principal fluindo através do mapa de processo podem ser processadas simultaneamente. Os recursos fazem parte dos bens de capital ou quadro de pessoal da organização e podem ter um custo associado a sua utilização, bem como sua disponibilidade estabelecida através de um cronograma variando de acordo com o dia da semana, por exemplo. A quantidade de recursos de cada tipo pode ser fixada com base em considerações de custo ou o rendimento

desejado do sistema pode ser escolhido como a variável de controle principal para fins de otimização do processo e daí ser derivada a carga de trabalho a ser atribuída aos recursos para que o objetivo fixado seja atingido. Os recursos necessários podem ser obtidos fazendo uso de modelagem dos processos, experimentação com base em simulação e análise de desempenho.

V. O MODELO DE GERÊNCIA DE PROJETOS E SUA IMPLEMENTAÇÃO

A maneira tradicional de se descrever um projeto é representando-o como uma rede sequenciada de atividades, por meio de diagramas conhecidos como PERT, uma técnica conhecida e bem documentada, usada para o gerenciamento de projetos de engenharia, seja ele um serviço prestado por uma empresa ou a fabricação de um produto industrial, visando o planejamento e controle de sua execução [8].

Um projeto é tradicionalmente visto como "um empreendimento único, com duração determinada, formalmente organizado, que agrega e aplica recursos visando o cumprimento preciso de objetivos pré-estabelecidos" [7]. Esta maneira de visualizar projetos como "empreendimento único" pode ser a razão pela qual os projetos têm sido tradicionalmente tratados, na literatura da área e por criadores de sistemas de apoio ao seu desenvolvimento baseados em computador, como uma questão completamente dissociada da gestão de processo de negócios empresarial e dos processos industriais de fabricação em série.

A analogia entre estas áreas de estudo e seus tipos particulares de problemas tornam-se evidentes, entretanto, quando se considera um projeto não como um processo único, mas como um processo em série ou, equivalentemente, quando se olha para ele como um multi-projeto, feito pela repetição, feita em paralelo e, possivelmente, com algum atraso, de múltiplas instâncias de seu processo básico único. O objetivo de um estudo de gerenciamento de projetos poderia, desta forma, ser visto como a determinação do processo básico ideal do projeto, que corresponderia à distribuição otimizada de todos os recursos alocados para alcançar o melhor desempenho, tanto em termos do tempo de processamento e do custo total, como destes mesmos parâmetros com relação aos estágios ou fases da execução do projeto.

O modelo de PM, em um estudo baseado em CTP, consiste na implementação do diagrama ULMD que descreve o modelo de processo de sistemas de forma concisa e com todas as suas funcionalidades essenciais em sistemas de PM. Estes modelos são utilizados para a análise e gestão do projeto em desenvolvimento, incluindo a identificação do caminho crítico, o balanceamento de recursos para reduzir parcialmente o tempo do ciclo do modelo, fazendo uso de funcionalidades de simulação existentes nestes sistemas, ou através da implementação concomitante do modelo em um sistema de simulação como uma ferramenta para a condução de uma análise separada.

VI. O MODELO BPM E SUA IMPLEMENTAÇÃO

Um processo de negócio ocorre quando diferentes entidades (pessoas e / ou organizações) interagem para atingir um objetivo de negócio comum. O modelo de processo de negócio é descrito por uma rede de atividades ou fluxo de trabalho, isto é, a forma como as entidades interagem para executar determinadas tarefas, a fim de atender aos objetivos do negócio.

A área de estudo BPM utiliza a notação BPMN para a criação de modelos representativos dos processos de desenvolvimento de produtos ou serviços realizados por uma organização, a fim de melhor compreendê-los e permitir a sua melhoria contínua.

Bizagi é um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Processos de Negócios (*Business Process Management System - BPMS*), um sistema utilizado para a implementação de soluções para modelar, analisar, gerenciar e melhorar o desempenho dos processos de negócio de uma organização [6].

O Bizagi oferece uma interface gráfica para o usuário projetar processos de negócios com base na notação BPMN - chamado *Process Modeler* - e um ambiente chamado Bizagi Suite, para a implementação de aplicativos para auxiliar a operação, a automação do sistema real, a gestão e controle dos processos, bem como o acompanhamento dos resultados e da análise de desempenho, a fim de melhorar continuamente os processos de negócio de uma organização.

Editores gráficos, como o *Process Modeler*, permitem a construção de modelos de processos de negócios, representativos de operações complexas realizadas por organizações, fazendo uso de uma rede de objetos gráficos, constituída principalmente por atividades, nós denotativos de decisão e de sincronização, bem como linhas que mostram os caminhos percorridos pelas entidades ou fluxo de controle (sequência de execução das atividades). Um BPMS, como o Bizagi, oferece diversas funcionalidades para ajudar o desenvolvimento de aplicações automatizadas de BPM, tais como:

- Construção de modelos, geração de fluxo de trabalho, execução, controle, gestão, automação e simulação de processos de negócio;
- Monitoramento em tempo real;
- Melhoria na comunicação e qualidade dos processos de negócio;
- Aumento da eficiência e da produtividade;
- Otimização e melhoria contínua dos processos de negócio a baixo custo;

O editor apresenta um painel para criação dos modelos onde é necessário arrastar e soltar os elementos BPMN para efetuar a prototipagem rápida de novos modelos, assim como a manutenção ou reutilização de modelos já existentes. Cada componente pode ser introduzido individualmente e configurado, fazendo uso dos padrões representativos dos

elementos BPMN, permitindo ao utilizador uma rápida construção dos modelos.

A Figura 3 ilustra a transformação do modelo de referência ULMD na representação BPMN utilizando o editor gráfico do Bizagi.

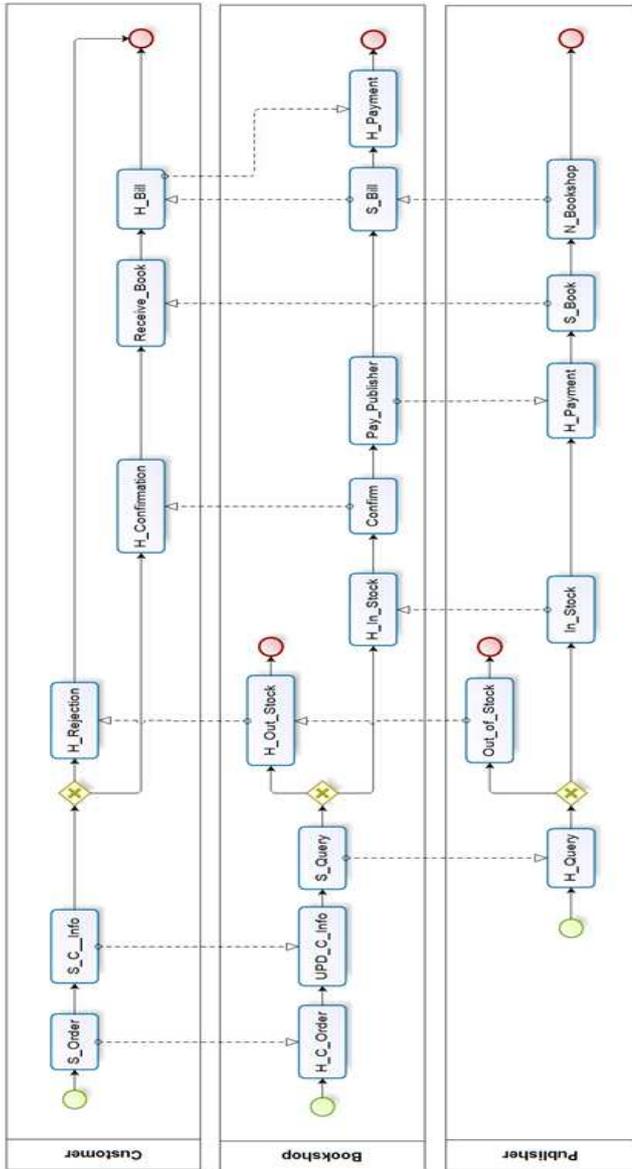


Fig. 3. Modelo da Livraria On-line no Bizagi

Os processos do *Customer*, do *Bookshop* e do *Publisher*, mostrados no modelo de referência, foram descritos na forma de processos modulares e distribuídos utilizando a notação BPMN, mantendo-se uma correspondência um-para-um das atividades com aquelas existentes no diagrama ULMD. Os processos foram implementados desta forma distribuída e foram sincronizados por meio do envio de mensagens, que interligam as atividades de cada piscina, cada uma representando os processos do ciclo de vida de uma dada entidade.

Uma observação interessante deve ser feita em relação à duplicação aparente da atividade *UPD_C_Info*, que foi originalmente descrita como uma única atividade sob a responsabilidade do agente *Bookshop*, executada em cooperação com o agente do *Customer*, no modelo ULMD e agora é retratada como um Envio-Recebimento de mensagem na representação em BPMN. Na realidade, este tipo de atividade acoplada ou sincronizada, indicado no modelo ULMD, é muito comum e já foi explicitamente representada em outras partes do modelo, tais como: *S_Query / H_Query*, *In_Stock / H_In_Stock*, *Out_of_Stock / H_Out_of_Stock*, *Confirmation / H_Confirmation*, *Pay_Publisher / H_Payment* e *S_Bill / H_Bill*. Essas atividades acopladas podem ser representadas como tarefas agrupadas, realizadas sob a responsabilidade de um único agente, ou como atividades sincronizadas executadas em módulos diferentes, caso em que eles são representados por pares de atividades e pelo Envio / Recebimento de mensagens interligando-as. Essas atividades são executadas de forma sincronizada, no sentido em que seus agentes interagem durante a sua execução e são liberados para continuar seus processos de ciclo de vida individuais após essas atividades estarem finalizadas. Ambos os tipos de representações refletem uma construção lógica semelhante e foram usados alternadamente nas implementações do modelo de processo de negócio descrito nesta seção e no modelo de simulação a ser descrito no capítulo VII deste artigo.

A descrição inicial do modelo BPMN, construído com *Process Modeler*, pode ser importado para o módulo Bizagi Suite. Por exemplo, certas atividades podem exigir um formulário para entrada de dados pelo usuário. Estes formulários podem ser projetados pelo desenvolvedor do aplicativo e globais locais variáveis podem ser definidas para a parametrização do modelo e determinação do fluxo de controle. Bases de dados, ligadas ao sistema real em operação, também podem ser utilizadas. Existem vários objetos que podem ser configurados para expressar diferentes tarefas pré-definidas e um mecanismo de relatório vinculado às bases de dados, auxiliando a gestão e análise da operação do sistema real.

As funcionalidades do Bizagi Suite permitem que o modelo possa ser implementado e colocado em operação. A utilização deste módulo adicional permite a colocação em operação do modelo implementado na forma de um aplicativo Web acessível por navegadores usuais. Um mecanismo de gerenciamento de execução fornece o controle do fluxo de trabalho das atividades a serem realizadas pelos agentes, permitindo que o aplicativo criado seja utilizado como uma componente de software destinada a apoiar a gestão do sistema real.

VII. O MODELO DE SIMULAÇÃO E SUA IMPLEMENTAÇÃO

De forma similar ao modelo de representação BPMN, criado com o Bizagi, o modelo de simulação é construído com base no modelo de referência. Na ausência de mecanismos automáticos para a transformação e verificação do modelo, este procedimento requer uma verificação, por parte do próprio modelador, para checar a fidelidade entre o modelo de simulação e o modelo de referência. A transformação da notação ULMD em um fluxo de trabalho das atividades a

serem implementadas, utilizando os elementos gráficos do Simprocess, é feito de forma bastante direta e simples. Pode-se manter a correspondência um-para-um entre as atividades, como mencionado, no caso de o BPD mostrado acima, mas foi escolhida a aglutinação de algumas atividades sob a forma de macro atividades, como uma forma de realçar a equivalência entre estas representações. A Figura 4 ilustra o modelo Livraria On-line implementada com a utilização da interface gráfica do sistema de simulação Simprocess.

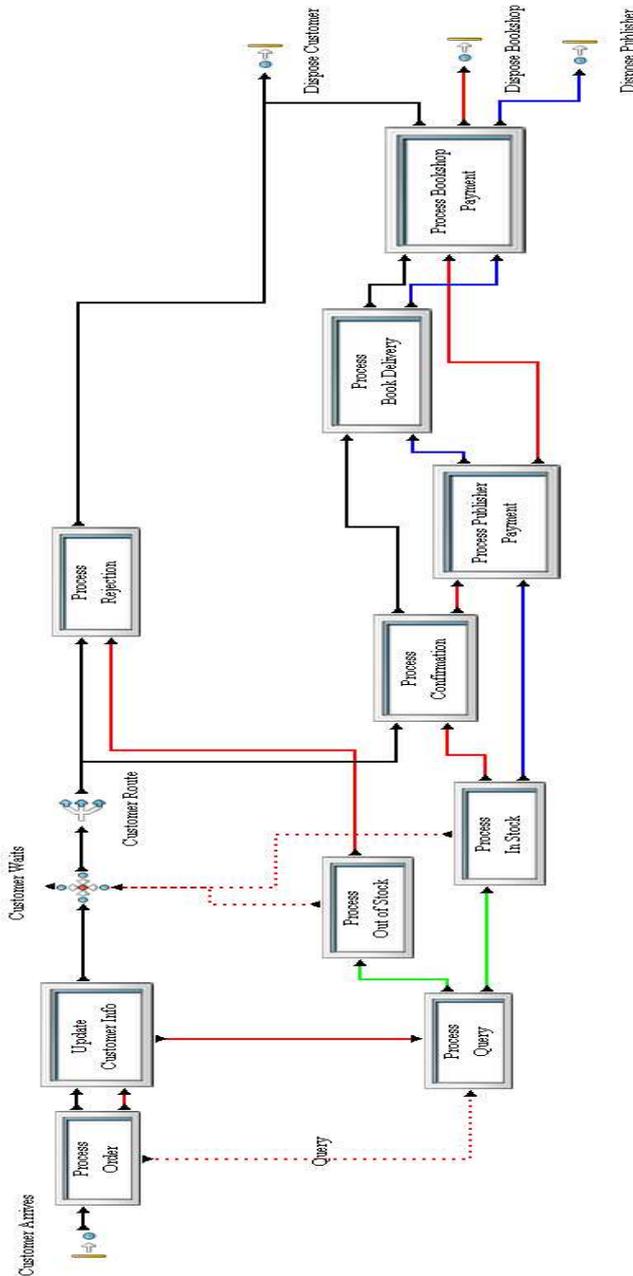


Fig. 4. Modelo Simprocess da Livraria On-line

O Simprocess é uma ferramenta para modelagem hierárquica de processos para simulação, que combina modelagem de fluxo de trabalho com capacidades de simulação de eventos discretos e análise de Custo Baseado em

Atividades (*Activity Based Cost - ABC*) em um único ambiente, com uma Interface Amigável ao Usuário (*Graphical User Interface - GUI*) [9] para modelagem de processo.

O Bizagi e o Simprocess não têm mecanismos de integração especiais, exceto para importação/exportação utilizando modelos em formatos XPD, que não são totalmente compatíveis. A integração destes tipos de sistemas é uma tendência, no entanto, e os fabricantes do Simprocess anunciam a existência de mecanismos visando facilitar a integração com BPMS Ultimus e com o MS Project, o que o torna uma opção interessante para explorar a implementação dos conceitos de modelagem conceitual unificada propostos neste trabalho.

A versão mais atualizada do Bizagi (*Process Modeler* versão 2.5) apresenta também algumas funcionalidades para a execução de simulação, mas estas funcionalidades não substituem o uso de um sistema de simulação como o Simprocess, porque este último tem componentes pré-construídas para a criação de modelos mais complexos, tornando-os mais fiéis ao sistema real e permitindo a elaboração de projetos de experimento e de uma análise de desempenho mais adequada, fazendo uso de diferentes cenários.

O modelo construído utilizando o Simprocess, apresentado na Figura 4, tem seis tipos de entidades definidas, a saber: *Customer*, *Bookshop*, *Publisher*, *Message*, *Book* e *Payment*. As entidades *Customer*, *Bookshop* e *Publisher* são as mesmas definidas no modelo ULMD. As cores utilizadas no diagrama são: preto para *Customer*, vermelho para *Bookshop* e azul para *Publisher*. As linhas contínuas representam o fluxo de controle ou o caminho das entidades e as linhas tracejadas representam a troca de mensagens entre os processos. As cores indicadas pelas linhas tracejadas são associadas com a classe de entidade que gerou a mensagem. As linhas contínuas verdes indicam vias em que participam mais de um tipo de entidade, por uma questão de simplificação da representação gráfica do modelo, embora estes fluxos de entidade pudessem ser repetidos e diferenciados pelas suas cores originais, se assim desejado.

As instâncias de entidade da classe de *Message* são criadas ou tem seu tipo transformado quando um processo precisa enviar certo tipo de mensagem, por exemplo, no momento em que o *Customer* entra no sistema e preenche um formulário (*book order*), quando o *Bookshop* envia este formulário para o *Publisher* (*query*) e quando o *Publisher* responde ao pedido de informações (*book in or out of stock*). As entidades *Bookshop* e *Payment* tem uma natureza semelhante à entidade de *Message*, elas foram criadas para representar o caminho do *Book* e do *Payment* seguido no sistema, respectivamente. Adicionalmente a essas entidades, existem dois tipos de recursos criados, chamado *Bookshop Resource* e *Publisher Resource*, para permitir as execuções múltiplas de atividades realizadas sob a responsabilidade das entidades *Bookshop* e *Publisher*.

O sistema foi testado para o aumento gradual da carga de trabalho e a determinação do período de *Warm up*. O período de *Warm up*, o tempo necessário para que o sistema atinja o estado de equilíbrio, foi determinada com base na quantidade

de *Customers* sendo processados no sistema. Algumas telas gráficas padrões, pré-estabelecidas, podem ser ativadas no Simprocess para ajudar a realizar esse tipo de análise.

A carga máxima do sistema foi determinada pela variação da quantidade de recursos disponíveis de cada tipo em diferentes simulações. Inicialmente, os recursos foram definidos de forma independente para cada atividade e apenas uma instância de cada tipo foi disponibilizada. A quantidade de recursos disponíveis foi aumentada gradualmente até que não houvesse mais entidades à espera de recursos nas filas em frente de cada atividade e foi atingido o número total de recursos ocupados. Com base nesses números novas simulações foram executadas com apenas dois tipos de recursos definidos, conforme descrito anteriormente: *Bookshop Resource* e *Publisher Resource*.

O número total de recursos, necessários para este último caso, é um pouco menor do que a soma total dos recursos individuais anteriormente listados. Isto é devido ao fato de que quando são usados apenas dois tipos de recursos, eles podem ser atribuídos em diferentes pontos do ciclo de vida dos processos das entidades que estão sendo servidas, evitando a formação de alguns gargalos. O uso de recursos individuais em cada atividade pode resultar em um excesso de oferta local, mas estes recursos individuais não podem ser alocados em outras partes do ciclo de vida dos processos das entidades, e por isto não melhoram o rendimento do processo.

Existem outras variáveis pré-definidas para a avaliação dos modelos utilizados, além do número total de *Customers* no sistema, tais como a quantidade de *Customers* a serem processados ou aguardando em pontos específicos ao longo dos processos de seu ciclo de vida (atividades ou filas, respectivamente), bem como a soma da quantidade de recursos ocupados e o percentual do tempo em que eles estiverem ocupados.

VIII. ANÁLISE INTEGRADA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A. Domínio da Aplicabilidade e Limites da Abordagem

O domínio de aplicação da abordagem proposta pela Modelagem Conceitual Unificada e sua aplicação em PLM de produtos e serviços complexos é dada pelos sistemas de eventos discretos que podem ser adequadamente representados pela representação ULMD, que é uma criação híbrida de DCA e de diagramas PERT de atividades. Esta classe de problema tende a ser muito grande, porque uma rede de atividades, bem como a sua forma particular conhecida como DCA, é uma boa representação dos processos executados em sistemas de eventos discretos em geral. Uma observação adicional a este ponto é que este tipo de diagrama é destinada exclusivamente para a modelagem de processos do ciclo de vida do produto, ao passo que outros tipos de diagramas, tais como SysML, serão utilizados para outras descrições estáticas e dinâmicas de produtos, tornando o procedimento geral de modelagem muito poderoso.

ULMD é essencialmente um subconjunto de BPMN, mas é necessário como notação de Modelagem Conceitual Unificada, porque seu nível de abstração é muito maior, com o objetivo de permitir uma modelagem flexível com o número

mínimo de elementos. O tipo de problema que pode ser representados pela notação ULMD inclui até mesmo sistemas de eventos discretos com uma natureza cíclica, como um processo de produção em série. A transformação de uma rede de atividades de natureza cíclica em diagramas do tipo PERT é possível e foi demonstrada em [12], uma vez que a via principal e as suas ramificações não precisam corresponder a uma das entidades reais sendo processadas no modelo. Estes caminhos podem ser descrito por uma entidade virtual "ordem de execução ou fluxo de controle" que se dividem em ramos que são executados em paralelo ou que apresentam um retorno para execução de retrabalho, caso se revele necessário, da mesma forma que se pode usar BPMN para descrever processos complexos.

A aplicação da metodologia e ferramentas derivadas da área de gerenciamento de projetos é baseada na ideia de que o processo de produção ou seu segmento, atualmente em análise, pode ser visto como um projeto único. As instâncias sucessivas que representam os diferentes lotes de produtos são tratadas pela replicação do processo básico, que pode ser reiniciado qualquer número de vezes, com ou sem um atraso no tempo, criando uma rede de atividades cuja representação gráfica é desenhada e executada sequencialmente, da esquerda para a direita ou de cima para baixo.

Processos de produção em série são, portanto, representados como o equivalente a um processo/projeto complexo de natureza múltipla, feito de várias instâncias de um único processo, cada instância inicializada com um instante de início diferente.

Não há necessidade de se considerar de múltiplos projetos com um elevado número de processos idênticos, porque o tempo de término do primeiro processo limita o número de processos total simultaneamente ativos no sistema. O estado estacionário do comportamento do sistema é atingido desta forma com base no número máximo de processos simultâneos que podem ser realizados em qualquer momento.

Em alguns casos, pode ser necessário repetir a algumas partes de um processo para criar uma representação gráfica completa do mesmo, se uma mesma entidade necessita repetir uma certa sequência de atividades por um determinado número de vezes, de modo diferente do tratamento descrito acima para ciclos que são originados da chegada de sucessivas ordens de serviço ou entidades.

Um problema surge quando o número de vezes que um segmento tem de ser repetidos é dependente de um atributo variável para as diferentes instâncias de uma classe de entidades a ser processados no modelo. Neste caso, o processo pode não ser passível de descrição neste nível de detalhe como um diagrama de atividades PERT que precisa ser atravessado apenas uma vez pela referida classe de entidade ou transação existente no modelo.

Nestes casos o problema só pode ser descrito como um diagrama de atividades PERT, se o nível de detalhe for reduzido, isto é, se o problema for modelado numa nível hierárquico mais elevado, com alguns detalhes encapsulados numa atividade macro, considerada como uma atividade única

para o propósito de se conduzir a análise complementar do tempo e do custo usando as técnicas de gerenciamento de projeto propostas pela abordagem.

B. Benefícios da Metodologia e de suas Ferramentas

A ideia é tirar proveito da aplicação conjunta de vários modelos e técnicas de análise que podem ser utilizados em apoio ao Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (*Product Lifecycle Management*) para auxiliar o desenvolvimento de produtos e serviços complexos, a fim de se beneficiar dos aspectos complementares em que cada uma dessas técnicas é especialmente forte.

Do ponto de vista de gerenciamento de projeto, espera-se que a aplicação de BPM e simulação em PM irá complementar os benefícios da aplicação isolada da técnica PM. Aplicações de BPM podem ser construídas para automatizar e ajudar o processo de gestão. A avaliação do projeto será feita por uma combinação dos procedimentos normais utilizados na gerência de projetos, acrescidos da técnica de simulação, com o objetivo de melhorar a compreensão dos fatores e estratégias que afetam significativamente a execução do projeto.

A análise, de multiprojetos utilizando simulação, projetos esses constituídos por vários projetos individuais, de idêntica natureza, irá produzir uma melhor compreensão das características desses projetos ou processos simples e permitir a melhoria do seu processo descritivo, por meio da otimização na alocação de recursos e redução no tempo de execução desses processos, contribuindo para o controle dos custos de execução das atividades.

A otimização será baseada na dissociação do tempo de atraso pela permanência em fila das entidades que aguardam diante de cada atividade do tempo real para execução da atividade, o que é estabelecido como uma estimativa agregada nos estudos atuais de gerenciamento de projetos, com base em estimativas conservadoras. A redução destes tempos de espera, aumentando o número de recursos alocados, mantendo o controle de seus custos relativos, deve produzir por si só um grande ganho de produtividade na execução de projetos específicos.

O ganho de produtividade será ainda maior quando se considera o fator de escala, existindo sistemas em que múltiplos projetos ou múltiplos processos reais precisam ser realizados, com o tempo de início apenas deslocado entre eles e os seus processos sendo executados em paralelo, por grandes equipes de trabalho divididas em classes por suas especialidades.

A falta desse tipo de análise, em estudos de gerenciamento de projetos efetivamente realizados, é explicada pelo fato de que as ferramentas de software existentes, utilizadas nessa área de estudo, não têm recursos para a experimentação de formas alternativas para a modelagem de seus processos, para a animação da passagem de tempo e para a experimentação no tocante à atribuição dinâmica de recursos, no caso de múltiplos projetos. Estes são claras deficiências destes sistemas, quando são comparados com os sistemas existentes de simulação. Estes mecanismos serão uma componente

essencial para a criação de um ambiente híbrido de PM, BPM e Simulação de acordo com a proposta aqui apresentada.

Estudos de Simulação realizados com este ambiente híbrido permitirão o acompanhamento do mapa completo das dependências e sequenciamento de todas as atividades, bem como dos recursos alocados no modelo. A experimentação e a avaliação do modelo de Simulação serão melhoradas e a produtividade será aumentada em alguns segmentos ou no ciclo de vida dos processos como um todo, através da otimização da alocação de recursos e a minimização dos tempos de conclusão, sujeito a restrições de custos.

Este resultado pode ser alcançado através da criação de mecanismos pré-estabelecidos, que sejam independentes do modelo específico em estudo, permitindo que a avaliação do modelo para aumento de sua produtividade torne-se parte integrante dos objetivos dos estudos de gerenciamento de projetos. Estes mecanismos independentes do modelo podem ser desenvolvidos usando funcionalidades existentes, ou podem ser criados totalmente se estas funcionalidades ainda não estiverem disponíveis, em um ambiente integrado de PM, BPM e Simulação.

C. Estado Atual e Futuros Objetivos da Pesquisa

O modelo ULMD da Livraria on-line foi implementado tanto no Bizagi quanto no sistema de simulação do Simprocess. Essas implementações foram realizadas por grupos de alunos de pós-graduação como projeto final do curso de Simulação de sistemas. A escolha do sistema de aplicação acima foi feito, exclusivamente, devido à sua disponibilidade como material do curso, mas qualquer software existente relacionado à PM, BPM e Simulação de processos, disponível no mercado, pode ser utilizado para teste desta fase exploratória do desenvolvimento da metodologia.

Conceitos como a determinação dos tempos ociosos das entidades nas filas em frente, às atividades do processo, e a alocação dinâmica de recursos por meio do uso de simulação, foram aplicados reduzindo o tempo de conclusão do processo (como um todo) e os custos do modelo. Conceitos como caminho crítico e tempo de conclusão de segmentos do processo, típico da técnica de gerenciamento de projetos, não foram aplicados no estudo, uma vez que o objetivo do curso foi a aplicação conjunta apenas de BPM e técnicas de Simulação. A realização de esforços nesse sentido pode ser uma proposta para pesquisas futuras, com o objetivo de proporcionar uma maior produtividade e uma análise mais aprofundada para a identificação de estratégias alternativas para a operação do sistema.

Como esperado, as ferramentas escolhidas para implementação demonstraram suas deficiências em lidar com alguns aspectos da modelagem como a replicação dos modelos dos processos, e a realização de experiências com multiprocessos, no caso de simulação, bem como para fazer com que a duração da atividade dependa da quantidade de recursos de cada classe a ela alocados no modelo, no caso de uma ferramenta BPM.

IX. CONCLUSÃO

A utilização conjunta de PM, BPM e Simulação em modelagem e análise de processos revela que eles têm uma natureza complementar. As duas primeiras dessas técnicas permitem uma melhor compreensão da lógica e estratégias para gestão do ciclo de vida das entidades que fluem através do sistema. A última permite a análise dos processos dinâmicos, incluindo a otimização dos recursos alocados para uma melhor avaliação do tempo de conclusão dos ciclos parcial ou total de produção, bem como a avaliação dos custos a eles relacionados. A combinação dessas técnicas é, portanto, muito promissora, mas as vantagens da utilização comum não têm sido exploradas, tanto quanto os autores têm conhecimento, por duas razões principais: em primeiro lugar e mais importante, porque não há nenhuma metodologia para Modelação Conceitual Unificada, capaz de unificar o processo de modelagem antes da aplicação destas técnicas individuais; em segundo lugar, porque os sistemas existentes de apoio a estas técnicas foram projetados com finalidades diferentes, sem considerar a sua natureza complementar.

O primeiro aspecto pode ser tratado através do desenvolvimento de uma metodologia para Modelagem Conceitual Unificada aplicada ao gerenciamento do ciclo de vida do produto, para a qual se espera que este trabalho tenha contribuído. Mas o sonho de alcançar todos os benefícios da metodologia unificada só será totalmente atingido se existir um comprometimento na construção de um ambiente híbrido para PM, BPM e Simulação para tratar simultaneamente, de uma forma unificada e integrada, todas as questões envolvidas nestas áreas de estudo autônomas e complementares.

Este trabalho aborda a identificação das semelhanças e diferenças existentes nas formas de representações de modelos utilizadas nas diferentes disciplinas que lidam com a modelagem de processos discretos e na formulação de conceitos e procedimentos para a sua integração. Um *framework* inicial para CTP foi proposto, e espera-se que o mesmo conduza ao desenvolvimento de uma metodologia completa e de suas ferramentas de apoio destinadas à melhoria dos processos de PLM. A aplicação conjunta de PM, BPM e Simulação apresentada ilustrou a aplicação da metodologia em fase de construção. A continuação do desenvolvimento e da aplicação da metodologia exigirá a utilização de sistemas existentes para PM, BPM e Simulação em diversos estudos de caso, bem como a criação de um novo ambiente de simulação híbrido, o que por sua vez, irá exigir bastante esforço de desenvolvimento de software.

Reconhecimento

Para todos os estudantes de pesquisa que contribuíram com o desenvolvimento do modelo de livreria on-line durante o CSE-326-4 Curso de Modelagem e Simulação de Gestão de Processos de Negócios, ministrado no primeiro período do ano de 2013, como parte do Programa de Pós-graduação ETE / INPE em Sistemas Engenharia e Gestão de Projetos.

Referências

- [1] Aalst, W. van der; Weske, M; Witz, G. Advanced Topics in Workflow Management. Journal of Integrated Design and Process Science march 2003, Vol. 7, No. 1, pp. 58.
- [2] Bizagi Process Modeler User Guide 2013. Available from: <http://help.bizagi.com/processmodeler/en/> Accessed on June 18, 2013.
- [3] Naidoo, T.; Muehlen, M. Z. The state of standards and their practical. AIIM CONFERENCE AND EXPOSITION, Philadelphia, n. 1, 2005.
- [4] Nance, R. E. The conical methodology and the evolution of simulation model development. Ann Opns Res, n. 53, p. 1-45, 1994.
- [5] Onggo, S. B. Towards a unified conceptual model representation: a case study in health care. Journal of Simulation, 3, n. 1, 2009. 40-49.
- [6] Pidd, M. "Computer Simulation in Management Science". John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1992, 3rd Edition.
- [7] PMI. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Fifth Edition. 5. ed. Newton Square: Project Management Institute, 2013.
- [8] Prado, Darci. "Administração de Projetos com PERT/CPM". Rio de Janeiro: LTC, 1984.
- [9] Simprocess - Product Overview. CACI, 2011. Disponível em: <http://simprocess.com/products/products.html>. Acesso em: 03 de junho de 2013.
- [10] Silva, L. A.; Kienbaum, G. S.; Loureiro, G.; Tanik, M. M. (2011). A Process Science and Technology Study Applied to the Laboratory of Integration and Testing of the National Space Research Institute (LIT/INPE). In: Society for Design and Process Science 2011, 2011, Jeju Island South Korea. SDPS Conference Proceedings, 2011.
- [11] Silva, L. A. Uma abordagem unificada para modelagem, simulação e gestão por processos e sua aplicação aos serviços de integração e testes de produtos complexos. versão: 2013-03-05. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 20130205. Available (Portuguese) in: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DBG82>. Accessed on June 10, 2013.
- [12] Travassos, P R N (2007) An Integrated Approach for Business Process Management and System Simulation and its Application in Project Management. 176 p. (INPE-14819-TDI/1259). PhD Thesis (Computer Science) – National Space Research Institute. São José dos Campos. Available (Portuguese) in: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/06.12.18.51>. Acesso em 07 de junho de 2013.