

# Supporting Infrastructure as a Service Capacity Management through Business Scenarios Simulation

G. Fenner, A. Lima, J. Neuman, J. Moura, and T. Bezerra

**Abstract**—Managing cloud services is a challenging activity. In an infrastructure-as-a-service (*IaaS*) provider, maintaining service capacity at a level that meets business demands and drives profitability for the provider requires the support of models and tools. This work presents a model based on systems dynamics and multi-criteria decision-making theories, to estimate the serviceability in the delivery of *IaaS* services. The model allows simulations of business scenarios to support decisions that involve multiple criteria and that favor the achievement of the strategic objectives of *IaaS* providers in their capacity management activities. We proceeded a case study in a Brazilian *IaaS* provider and results indicated that the model contributed to better align management actions with the *IaaS* provider's business objectives through performance monitoring estimates, management behaviors and suggested decisions.

**Index Terms**—IT service management, Capacity management, Cloud computing, Systems dynamics, Multi-criteria decision-making.

## I. INTRODUÇÃO

A crescente importância da tecnologia da informação (TI) para as empresas fez com que os negócios dependessem cada vez mais dos serviços de TI [2]. O rápido desenvolvimento das tecnologias de processamento e armazenamento aliado ao grande sucesso da Internet, contribuiu para que os recursos computacionais se tornassem mais baratos, mais poderosos e bem mais disponíveis que anteriormente. Essa nova tendência tecnológica tornou possível a existência do modelo de computação denominado *computação em nuvem*, onde os recursos são providos sob demanda através da Internet [49].

O ambiente de computação em nuvem é composto basicamente de três modelos de serviços: *infraestrutura como serviço (IaaS)*, *plataforma como serviço (PaaS)* e *software como serviço (SaaS)* [1]. A nuvem oferece os mais variados tipos de recursos e pode oferecer diversas vantagens que tem como resultado final a otimização de serviços, redução de custos e atualização tecnológica.

Muitos provedores *IaaS* não conseguem tomar decisões mais efetivas, pelo fato de seu processo de gerenciamento de capacidade e demanda não estarem alinhados com as necessidades do negócio.

A compreensão da dinâmica da capacidade dos processos em diferentes cenários e seu impacto no desempenho das atividades pode subsidiar decisões e ações de melhorias na capacidade dos serviços *IaaS*.

Entender o comportamento sistêmico dos processos de gerenciamento de capacidade e de demandas, considerando a avaliação das capacidades essenciais de TI, em consonância com o portfólio de serviços de provedores *IaaS* e sua interação durante a execução de serviços, pode levar a decisões que favoreçam o alcance dos seus objetivos estratégicos.

A principal contribuição deste trabalho reside na possibilidade de se realizar simulações para a avaliação de capacidade *IaaS* com base em cenário reais.

Este artigo é constituído de cinco seções. A primeira apresenta a introdução, enquanto a segunda seção apresenta a fundamentação teórica que norteou a pesquisa e mostra alguns trabalhos relacionados. Na terceira seção, o modelo proposto é detalhado. O estudo de caso realizado e a análise dos resultados são discutidos na quarta seção. Na quinta seção são apresentadas as conclusões da pesquisa.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E TRABALHOS RELACIONADOS

De acordo com [11], *Business-driven IT management (BDIM)* [10,11] consiste na aplicação de um conjunto de modelos, práticas, técnicas e ferramentas, a fim de mapear e avaliar quantitativamente interdependências entre o desempenho dos negócios e soluções de TI. Teoria e prática em *BDIM* são discutidos a partir de uma perspectiva de tomada de decisão em [13]. Pesquisas *BDIM* também são apresentadas em [58] e [59]. Os guias *COBIT (Control Objectives for Information and related Technology)* [9] e *ITIL (IT Infrastructure Library)* [4] orientam sobre diretrizes para a classificação e priorização de investimentos que devem ser feitos em serviços. Foram considerados nesta pesquisa dois processos descritos no livro desenho de serviços (*service design*) do *ITIL*, o processo de gerenciamento de demandas (*demand management*) e o processo de gerenciamento de capacidade (*capacity management*). O gerenciamento de demandas (GD) é o processo cujo objetivo é compreender, prever e influenciar a demanda de clientes por serviços e o fornecimento de capacidade para atender a estas demandas [8]. O gerenciamento de capacidade (GC) tem como propósito assegurar que a capacidade dos serviços e a infraestrutura de TI atendam aos acordos de nível de serviços (*Service Level Agreements - SLAs*), com eficácia de custos e em tempo adequado.

Em [16] é apresentado um modelo que avalia as capacidades dinâmicas e gestão de benefícios para avaliar gerenciamento de

Germano Fenner e José Neuman de Souza, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil, germanofenner@gmail.com, neuman@ufc.br

Alberto S. Lima e J. Antão B. Moura, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil, albertosampaio@ufc.br, antao@dsc.ufcg.edu.br

Tárcio Rodrigues Bezerra, Instituto Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, tarciobezerra@gmail.com.

recursos de TI em empresas públicas que precisam de terceirização. O trabalho de [17] apresenta um modelo que oferece suporte as decisões com base no valor de negócio. Através de quatro perspectivas inter-relacionadas: financeira, cliente, processos internos de negócios e aprendizagem e crescimento, o método denominado *Balanced Scorecard (BSC)* mede o desempenho organizacional por meio de indicadores, os quais complementam medidas financeiras tradicionais, traduzindo a missão e a estratégia de uma organização. Em [18], foi apresentada uma proposta de incorporação da metodologia de dinâmica de sistemas com as etapas de planejamento estratégico, utilizando o modelo do *BSC*. A falta de um entendimento definitivo e consolidado sobre o que constitui as capacidades de TI e de como se medir essa capacidade traz grandes possibilidades para trabalhos de pesquisa [14].

O trabalho de [19] sugere um modelo para quantificar o valor e o percentual de qualidade de um serviço de TI. Em [27], é proposto um modelo de tomada de decisão sobre terceirização de TI.

#### A. Infraestrutura como um Serviço (IaaS)

O serviço do tipo *IaaS* contempla a capacidade que o provedor possui para oferecer uma infraestrutura de processamento e armazenamento de forma transparente. O serviço do tipo *IaaS* fornece recursos, tais como máquinas virtuais, servidores, rede, armazenamento e outros recursos de computação, fundamentais para se construir um ambiente de aplicação sob demanda, o qual pode incluir sistemas operacionais e aplicativos [48]. Uma camada consiste em uma divisão lógica de componentes de *hardware* e *software*. Alguns destes recursos computacionais podem ser agrupados e organizados para realizar uma determinada tarefa do sistema. A Fig. 1 apresenta essas camadas e suas respectivas associações.

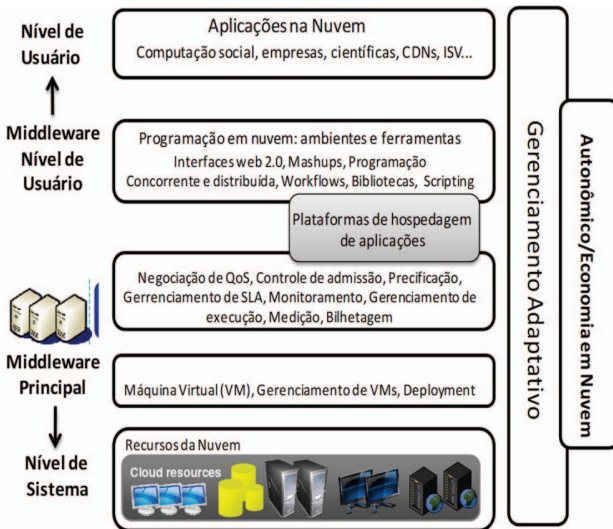


Fig. 1. Arquitetura da Computação em Nuvem. Adaptado de [48].

A camada de nível mais baixo é a de infraestrutura física. Uma camada de *middleware* é responsável por gerenciar a infraestrutura física e tem por objetivo fornecer um núcleo lógico de uma nuvem. No nível acima da camada de *middleware*, se encontra a camada responsável por prover suporte para a construção de aplicações e contém ferramentas

ou ambientes de desenvolvimento. Por fim, encontra-se a camada das aplicações de computação em nuvem. A **virtualização** tem sido definida como uma técnica para esconder as características físicas dos recursos computacionais.

A elasticidade permite que os usuários cresçam e reduzam a quantidade de recursos usados sob demanda [5]. De acordo com [3], a elasticidade da nuvem é a capacidade de dimensionar a capacidade de computação, armazenamento e / ou rede. Em [28] foi apresentado um modelo de custos para armazenamento em máquinas virtuais na nuvem. Conforme mostrado na Fig. 2, em esquema triangular, os provedores podem escolher apenas duas restrições entre a elasticidade, capacidade e desempenho, ao tomar decisões para um serviço em nuvem, sacrificando a terceira [57].

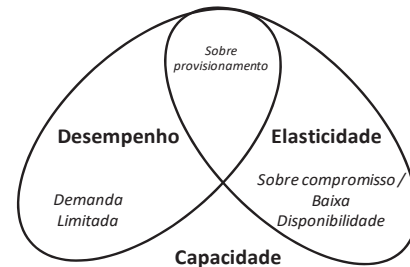


Fig. 2. Triângulo para o gerenciamento de recursos na nuvem [57].

Um provedor de serviços em nuvem disponibiliza serviços para vários tipos de clientes, desenvolvendo produtos centrados na nuvem [6]. De acordo com [7], Infraestrutura como Serviço (*IaaS*) é uma das mais significativas e de crescimento mais rápido. Oferecer serviços para satisfazer os diferentes requisitos dos usuários e, ao mesmo tempo, manter os custos baixos é um desafio [5]. Em [43], vários cenários *IaaS* foram utilizados na pesquisa sobre gerenciamento de desempenho de máquinas virtuais.

#### B. Dinâmica de Sistemas

A dinâmica de sistemas (*DS*) consiste em um aspecto da teoria de sistemas para o entendimento do comportamento de sistemas complexos, criado para modelar e analisar o comportamento complexo desses sistemas [20]. Sua base consiste no reconhecimento de que a estrutura de qualquer sistema (muitas vezes circulares e fechados, algumas vezes com atrasos entre os relacionamentos de seus componentes) é tão importante na determinação de seu comportamento quanto os próprios componentes individuais. Através da *DS* é possível modelar e analisar o comportamento em uma grande variedade de sistemas, inclusive sistemas sociais, econômicos, políticos, entre outros. A técnica tem sido utilizada na modelagem dos mais diversos tipos de sistemas onde uma visão holística possui papel relevante e os enlaces de *feedback* são fundamentais para a compreensão dos inter-relacionamentos [21].

A *DS* é baseada em uma estrutura direta de fluxos e estoques, projetada para modelar sistemas com numerosas variáveis e com realimentações atrasadas entre as variáveis. A *DS* prevê o uso de dois tipos de modelos: diagramas de influência ou de enlaces-causais (modelos qualitativos) e modelos baseados em computador ou diagramas de estoque-fluxo (quantitativos). O primeiro é considerado o cerne da *DS*. Muitos estudos que adotaram a metodologia *DS* criaram apenas diagramas de

influência. Esses diagramas são suficientes para identificação dos diversos laços de *feedback* (reforço e balanceamento) e dos fatores que influenciam o fluxo do sistema modelado. No entanto, apenas a partir da simulação em computadores (modelos quantitativos) pode-se ter uma visão dos reais efeitos dinâmicos desses laços de *feedback* e uma maior compreensão do sistema em análise. Isso encoraja a exploração de experimentação com o modelo [22 - 24]. Modelos de *DS* são úteis para o desenvolvimento de modelos dinâmicos de ciclo de vida, que focam no desempenho geral de sistemas e no impacto de mudar variáveis-chave que afetam o desempenho geral. Um modelo que usa dinâmica de sistemas não é estático, pois apresenta o movimento e como a mudança em variáveis afeta um processo [22]. Em [44] foi avaliado como a dinâmica de sistemas e técnicas inteligentes podem ajudar a modelar e prever o comportamento de processos com o objetivo de otimizar operações de escalonamento em ambientes de grade computacional. No trabalho de [31], foi apresentada uma classificação da dinâmica de sistemas que considerava o tempo, o tipo de modelo, os parâmetros do modelo e a memória do sistema. Em [60], foi realizada uma revisão sobre abordagens que envolvem dinâmica de sistemas na gestão sustentável da cadeia de suprimentos, com a apresentação de diretrizes para a modelagem. Foi sinalizada a necessidade de modelos híbridos, que integrem a dinâmica de sistemas com diferentes modelos de simulação, otimização ou tomada de decisão multicritério. A partir da utilização de simulações como atividades mais rotineiras, a dinâmica de sistemas está sendo cada vez mais aceita como uma ferramenta apropriada nas escolas de pensamento econômico [61]. Dessa forma, a literatura cita aplicações da abordagem em diversas áreas de conhecimento. O interesse desta pesquisa teve foco na complexidade dinâmica, ou seja, nas relações entre os componentes do sistema, em como ocorre a dinâmica entre eles ao longo do tempo.

### C. Tomada de Decisão Multicritério

De acordo com [42], existem muitas abordagens para o problema de tomada de decisões utilizando diversos critérios, gerando uma diversidade de métodos. Os métodos baseados em *MAUT* (*Muti-Attribute Utility Theory*) contemplam o modelo de soma ponderada (*Weighted Sum Method* (*WSM*)), o modelo de produto ponderado (*Weighted Product Method* (*WPM*)) e o processo de análise hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* (*AHP*)). Por sua simplicidade, o método *WSM* é o mais utilizado. No entanto, esse método só deve ser usado quando se aplica a suposição de utilidade aditiva: não se deve somar maçãs e laranjas; somente critérios que utilizam as mesmas unidades e escala podem ser combinados. Esse fato limita severamente necessariamente o método, embora muitos autores utilizam *WSM* sem ter em conta tal restrição. O método *WPM* combina critérios multiplicando proporções de métricas para várias alternativas que estão sendo comparados. Essa divisão de métricas com a mesma unidade anula a unidade e, por essa razão, este é chamado uma análise adimensional. O método *Analytic Hierarchy Process* (*AHP*) decompõe o problema de decisão em uma hierarquia de critérios e alternativas e comparações entre pares para expressar a importância relativa de um critério em detrimento de outro [42]. O método *AHP* pode combinar critérios qualitativos e quantitativos, e é largamente utilizado. O método é semelhante ao *WPM* na

medida em que utiliza proporções de métricas. O método *AHP* foi considerado a abordagem integrada mais popular.

O trabalho apresentado por [45] descreve uma hierarquia de critérios para comparação de serviços em nuvem. O trabalho de [46] lista diversas situações onde o método *AHP* foi empregado com sucesso em decisões relacionadas a serviços de nuvem. O trabalho de [15] trata do processamento de informação linguística e utiliza o método *AHP*. O método *AHP* tem sido utilizado em vários outros estudos na área de TI, entre os quais pode-se citar: seleção de sistemas *ERP* [32]; sistemas de suporte à decisão para ajudar na busca de informação e melhorar os resultados de busca na web a partir de um vocabulário controlado [33]; Seleção de um provedor para a terceirização de TI [34]; Gerenciamento de serviços de TI de forma geral, com foco na satisfação do cliente [35]; seleção de sites *web* para publicidade *on line* [37].

Nesta pesquisa, optou-se pela escolha do método *AHP* clássico, por ser um dos métodos de tomada de decisão multicritério mais conhecidos, passível de extensão e ter sido identificado como o método mais utilizado em abordagens de TI na revisão de literatura [41].

### III. O MODELO PROPOSTO

O modelo proposto considera quatro atividades interativas, inerentes ao gerenciamento de capacidade, a partir da visão do guia ITIL [4]: *monitoramento*: verificar se todos os níveis de serviço (SLAs) previamente acordados estão sendo alcançados; *análise*: os dados coletados através do monitoramento precisam ser analisados para geração de previsões futuras; *ajuste*: implementa o resultado do monitoramento e análise para otimização e mudanças, visando assegurar o uso otimizado da infraestrutura atual e futura; *implementação*: implementa a nova capacidade planejada. Essas atividades podem ser executadas em um ciclo de melhoria contínua, semelhante ao ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) [19]. A Fig. 3 apresenta a visão do processo de gerenciamento de capacidade *IaaS* no modelo, onde as atividades de monitoramento, análise, modelagem, seguidas da otimização, onde as alterações e mudanças necessárias são realizadas em um ciclo de melhoria continuada.

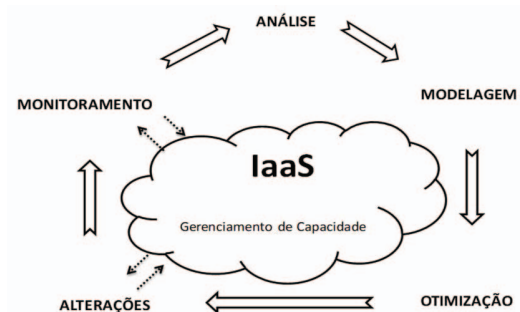


Fig. 3. Ciclo de atividades no gerenciamento de capacidade.

A proposta foi direcionada pelo mapa estratégico *Balance Scorecard* - *BSC* [10] para provedores *IaaS*, com as perspectivas baseadas em objetivos estratégicos do negócio, definidos no mapa para as dimensões financeira, clientes, processos internos, aprendizado e crescimento, como mostrado na Fig. 4.



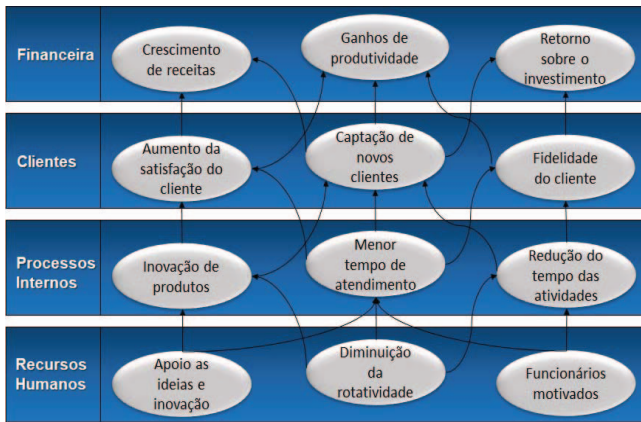


Fig. 4. Mapa estratégico BSC utilizado no modelo.

Para um melhor entendimento e manipulação do modelo proposto, foi utilizado o conceito de indicador chave de desempenho (*Key Performance Indicator - KPI*) e proposto um novo conceito de indicador, denominado indicador chave de capacidade (*Key Capacity Indicator - KCI*). Deve-se informar o padrão de capacidade esperado para cada indicador, bem como o valor da tolerância que irá definir a sinalização do modelo (no caso da proximidade de possível violação dos acordos de nível de serviço).

O modelo proposto é organizado nos níveis operacional, tático e gestão. O nível operacional é contemplado por variáveis de entrada relacionadas com a parte técnica do serviço *IaaS*.

Os valores no intervalo entre padrão definido para cada indicador e a tolerância informada serão sinalizados como alertas. A partir da revisão de literatura e observação, foram definidos indicadores relativos a armazenamento (*storage*), memória, virtualização, tráfego de internet, por serem mais comumente utilizados pelos provedores. O nível tático é contemplado pelo desempenho dos processos de gestão de demandas e gestão da capacidade. O modelo considera a influência e o impacto dos critérios qualitativos tais como o nível de conhecimento dos funcionários, a experiência profissional da equipe, o nível de motivação das pessoas envolvidas, além da rotatividade de funcionários (*turnover*) e satisfação do cliente. O nível de gestão (estratégico) contempla o alinhamento, retorno do investimento, valor, lucratividade, direcionando o gestor na tomada de decisões, análise do custo benefício, bem como na estimativa de valor percebido. Considera-se os processos de gestão estratégica do negócio e o processo de gestão de benefícios.

O modelo proposto é instanciado a partir da necessidade do provedor em manter uma infraestrutura *IaaS* alinhada com a demanda por capacidade do negócio. Com o planejamento de simulações realizado, as entradas são alimentadas, e se executa a partir da ferramenta de *software* denominada *Stella* [47] uma simulação para cada um dos cenários definidos. Os resultados podem indicar pontos onde a capacidade do serviço *IaaS* pode necessitar de uma atenção especial dos gestores, através dos semáforos (indicativos de cores). Os valores apresentados na saída da simulação podem indicar as cores verde, amarelo e vermelho, de acordo com o grau de criticidade de cada variável apresentada nos resultados. Dessa forma, as ações mitigadoras podem ser planejadas em função do aspecto que mais contribuir para um possível resultado crítico em uma simulação. A tomada

de decisão sobre as ações no gerenciamento de capacidade também é suportada pelo modelo.

A Fig. 5 mostra o fluxo de execução e verificação das simulações considerando as variáveis de entrada, a simulação dos processos, a análise do comportamento, variáveis de saída e a opção de decisões estratégicas.

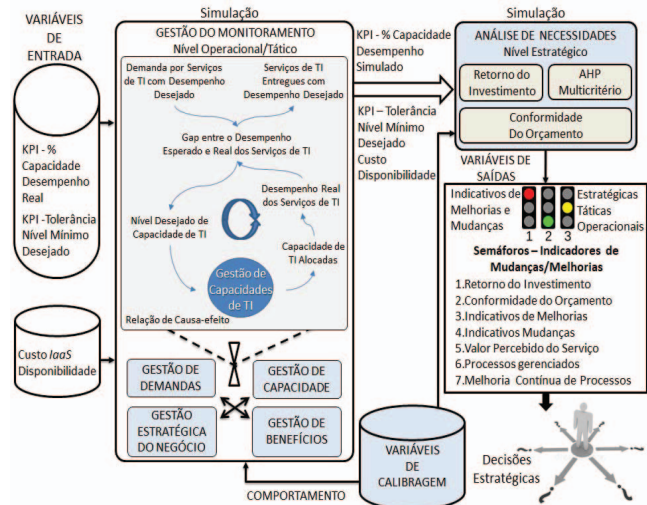


Fig. 5. Fluxo de execução e verificação do modelo.

A Fig. 6 mostra os componentes do modelo proposto com os seus respectivos inter-relacionamentos. As variáveis estão divididas em quatro tipos: variáveis de entrada, variáveis de calibragem, variáveis mediadoras e atributos de saída. As variáveis de entrada (E) caracterizam os benefícios e as métricas de desempenho a serem alcançados, os recursos disponíveis dentro da organização e as características da demanda. As variáveis de calibragem representam informações específicas sobre as organizações. São utilizadas para ajustar o comportamento da simulação à realidade das organizações ou aos ambientes dos cenários de simulação.

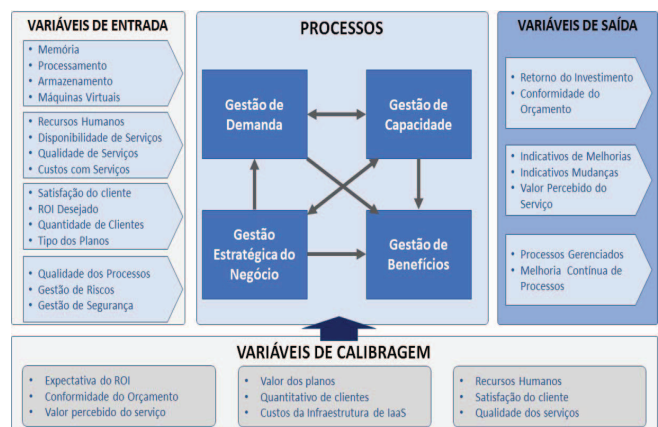


Fig. 6. Dinâmica de utilização do modelo.

As variáveis mediadoras (M) representam informações endógenas ao sistema, obtidas a partir das entradas, da calibragem e, em situações que envolvem ciclos de *feedback*, a partir de atributos de saída. Os atributos de saída (S) são valores decorrentes das relações de causa e efeito entre as variáveis de

entrada, calibragem e mediadoras ao longo do tempo.

O modelo proposto simula o desempenho que supostamente seria apresentado pelas capacidades de TI no mundo real em resposta a entradas que representam os recursos disponíveis e o desempenho esperado. O desenho das variáveis envolvidas no processo de gerenciamento de capacidade teve como referencial o trabalho em [56], o qual propõe um modelo conceitual de capacidades organizacionais para uso de computação em nuvem pública.

Como variáveis de entrada, os gestores deverão informar dados referentes a estrutura do provedor, para que o modelo possa gerar resultados efetivos. Os percentuais de capacidade demandada do ambiente *IaaS* (*KPIs*, *KCIs* e *Objetivos*) são utilizados. De acordo com o diagrama causa-efeito que envolve o processo de gerenciamento de capacidade, são definidas as variáveis de calibragem e mediadoras (intermediárias) que irão complementar os cenários avaliados. Os dados de entrada podem ser coletados através de ferramentas de mercado específicas para a finalidade.

O usuário irá fornecer informações para que o sistema possa realizar as simulações. O gestor fornece os dados relacionados a demandas, configurações do ambiente, quadro de pessoal, necessárias para simulação. Nessa etapa, o gestor deverá fornecer a maior quantidade de dados possíveis para que a simulação alcance um maior grau de precisão.

A Fig. 7 ilustra o processo que norteou a modelagem da relação de causa e efeito. A partir a identificação de quanto falta para o atendimento de um objetivo, quanto maior seja esse indicativo, maior será demandada uma maior quantidade de ações, mensurado o efeito dessas ações, em um ciclo que se repetirá até que o valor desejado para se atingir o objetivo seja alcançado. Da mesma forma, quanto menor for o indicativo, menor será a quantidade de ações necessárias e menos efeitos serão gerados por essas ações.

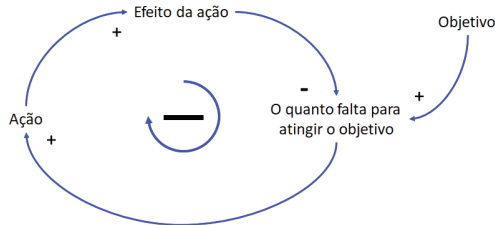


Fig. 7. Enlace de balanceamento “busca por objetivo”.

Para uma apresentação mais didática e modularizada da proposta, foi realizada uma divisão do diagrama de causalidade em setores. Tal setorização teve como base o fluxo da Fig. 8, a qual identifica claramente o uso de recursos e suas produtividades em função das atividades envolvidas. O controle do uso de recursos e a conversão em produtividade foi confinado em um setor específico. A possibilidade de utilização de recursos próprios, qualitativos e quantitativos, suscitou a segmentação deste novo setor. Finalmente, toda a parte de verificação de desempenho e cumprimento de objetivos foi confinada em um diagrama de alto nível de abstração. Os ajustes foram feitos no diagrama até convergirem para a seguinte estrutura de setores: *gestão de demandas*, *gestão de capacidades*, *gestão do negócio* e *gestão de benefícios*, no caso 4 diferentes áreas de tomada de decisão.

A Fig. 8 ilustra a visão de alocação de recursos *IaaS* adotada. A partir da demanda por recursos (consumo) existe um fornecimento de capacidade por parte do provedor, com execução de balanceamento entre o uso de recursos e controle da elasticidade (consumo, quando necessário).

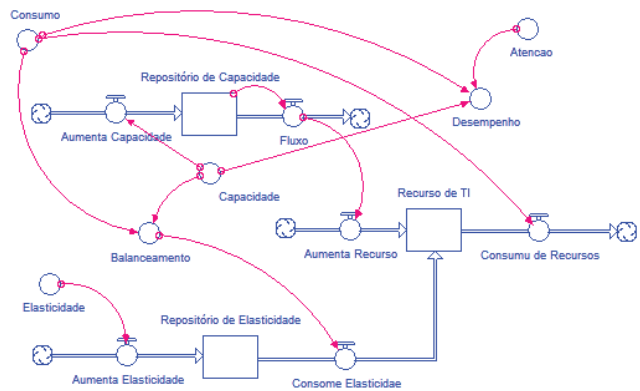


Fig. 8. Adequação da alocação de recursos de TI para execução de serviços.

De acordo com a visão apresentada na Fig. 9, existe uma influência do *turnover* da equipe (*staff*) no desempenho dos recursos humanos (RH) envolvidos na execução dos serviços *IaaS*. As variáveis motivação, conhecimento e experiência profissional são utilizadas no cálculo do desempenho do RH (fator qualitativo), considerando-se também o *turnover*. A tolerância informada para essa variável em relação ao período de um ano, indica o indicativo aceito pelo provedor para a rotatividade de pessoas, utilizado na estimativa do desempenho.

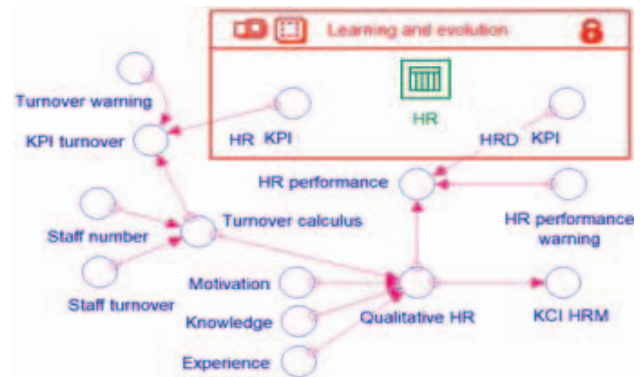


Fig. 9. Critérios qualitativos considerados.

Conforme mostrado na Fig. 10, atender ao nível de capacidades pelos serviços *IaaS* necessários, requer o conhecimento da gestão de demandas e a interação com a área de gestão de capacidades.

Caso o nível de capacidade necessário ao atendimento das demandas pelos serviços *IaaS* não seja atingido com a alocação dos recursos, a área de gestão de capacidade irá influenciar a forma como esta lacuna será preenchida. A gestão de capacidade também será influenciada pelo custo de investimento nos recursos *IaaS*, necessários para atendimento da demanda pelos serviços. A Fig. 11 apresenta a implementação do diagrama de causalidade apresentado na Fig. 10, sendo uma representação genérica de controle de demandas para todos os recursos do provedor *IaaS* no modelo proposto.

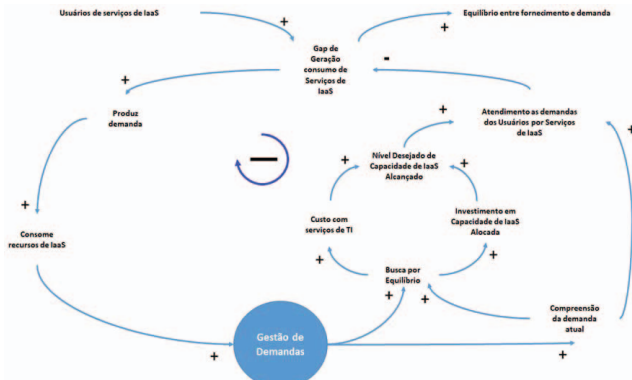


Fig. 10. Diagrama de causalidade da área de gestão de demandas.

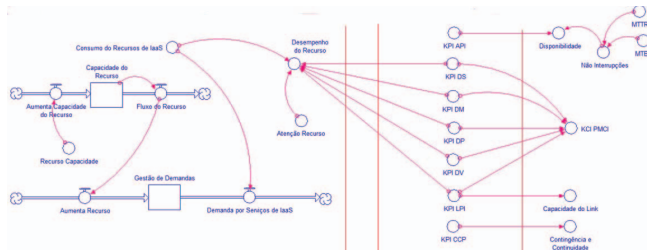


Fig. 11. Diagrama de fluxo do processo de gestão de demandas.

A geração das demandas é realizada através do fornecimento dos seguintes atributos: consumo de recursos IaaS tais como *storage*, memória, processamento e de máquinas virtuais. Essas variáveis são fornecidas em termos percentuais (%). Os atributos apresentados no quadro processos internos da Fig. 11 determinam os níveis de tolerância para os KPIs relativos a cada uma das variáveis que representam os recursos do provedor IaaS. As tolerâncias são definidas com base nos acordos de nível de serviços (SLAs) estabelecidos para os serviços IaaS. Essas tolerâncias são utilizadas para definir a alocação de mais recursos e capacidade para o servidor IaaS, cujo desempenho é consolidada e devolvido pelo processo de gestão de capacidades e consolidado nos KPIs relacionados com os KCIs e com os objetivos estratégicos do negócio. Tais tolerâncias ainda são utilizadas no processo de controle do desempenho de recursos, que recebe informações sobre o consumo de recursos. A capacidade atual relacionada a um recurso é comparada com o respectivo grau de tolerância para o KPI, especificado para cada um dos recursos (*storage*, memória, processamento, virtualização, etc.) do provedor IaaS, gerando indicativos visuais para os gestores quando os valores estiverem próximos a esses graus de tolerância.

O consumo dos recursos IaaS interage com o processo de gestão de demandas. Na medida em que se aumenta a capacidade de um recurso, se abastece o estoque de capacidade desse respectivo recurso, através do processo fluxo de recurso e se aumenta o recurso, atualizando o estoque gestão de demandas. Com o estoque gestão de demandas atualizado e a integração com o processo demanda por serviços, existe a verificação de conformidade, sendo feita a checagem, onde a demanda é comparada, analisada e se tem a informação relacionada à demanda pelos recursos IaaS do provedor. A partir daí, passa a existir um relacionamento com o processo de gestão de capacidade, onde ações relacionadas à elasticidade são tomadas. A Tabela I mostra as variáveis do processo de

gestão de demandas utilizadas para desenvolvimento do modelo proposto.

TABELA I  
VARIÁVEIS DO PROCESSO GESTÃO DE DEMANDAS

Nome	Descrição	Unidade	Tipo
Consumo de banda/link	Capacidade que o link oferece para tráfego de dados na internet	Mbps	E
Consumo dos Recursos de Memória	Quantidade de consumo por um recurso de memória	MB	C
Consumo dos Recursos de Storage	Quantidade de consumo por um recurso de <i>storage</i>	MB	C
Consumo dos Recursos de Processamento	Quantidade de consumo por um recurso de processamento	Mflops	C
Desempenho do Recurso	Relação de consumo dos recursos de IaaS em relação da demanda por capacidade	%	M
Disponibilidade	Relação da disponibilidade dos serviços	%	S
KPI API	Indicador de Desempenho de Disponibilidade	%	E
KPI CCP	Indicador de Plano de Contingência / Continuidade	%	E
KPI DS	Indicador de Desempenho de Armazenamento	%	E
KPI DM	Indicador de Desempenho de Memória	%	E
KPI DP	Indicador de Desempenho de Processamento	%	E
KPI DV	Indicador de Desempenho de Virtualização	%	E
KPI LPI	Indicador de Desempenho do Link Internet	%	E
KCI MPC	Indicador de Capacidade Física da Máquina	%	S
MTTR	Tempo Médio de Reparos	%	E
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas	%	E
Não Interrupções	Relação entre o Tempo Médio de Reparos	%	S
Recurso Capacidade	Quantidade de capacidade para o recurso de IaaS	MB	E

A análise da demanda é representada por fluxos paralelos, onde o fluxo de recurso, é alimentado pelo estoque de capacidade de recursos e o fluxo demanda por serviços é alimentado pelo estoque gestão de demandas. Os atributos de saída do processo de gestão de demandas serão usados para análise e verificação do alcance de objetivos estratégicos para calcular e acompanhar a evolução dos indicadores monitorados.

Com o diagrama a seguir, é possível representar um conjunto de diferentes capacidades, utilizando o suporte a variáveis multidimensionais. Todas as capacidades dos recursos do provedor IaaS são representadas no mesmo fluxo do processo de gestão da capacidade mostrado na Fig. 12.

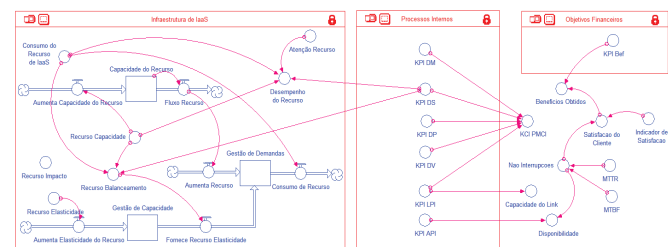


Fig. 12. Diagrama de fluxo do processo de gestão de capacidade.



O comportamento da gestão de capacidade é regido predominantemente pelo arquétipo “Busca por Objetivo”, que é essencialmente um enlace de balanceamento. A representação quantitativa dada à gestão de capacidade *IaaS* é uma taxa de atendimento a demanda, ou seja, a capacidade que o provedor *IaaS* tem de atender a demanda de recursos ( $dr$ ) processadas por hora ( $dr/h$ ). A taxa é calculada a partir do consumo dos recursos *IaaS* envolvidos (*storage*, memória, processamento, virtualização, *link internet*). A capacidade do recurso é responsável pela liberação do recurso elasticidade, quando houver necessidade. O desempenho do recurso, avalia o quanto o recurso *IaaS* está conseguindo atender da demanda, consolidando informações que irão orientar o gestor sobre a necessidade de investimento nesse recurso. Consumo do recurso *IaaS* alimenta o sistema com as informações relativas às demandas por recursos por hora ( $dr/h$ ). A constante de equilíbrio recurso balanceamento identifica a demanda atual por recursos *IaaS* e a capacidade do provedor para atender à mesma.

Já o recurso elasticidade informa a capacidade extra, a reserva de recursos *IaaS* que o provedor dispõe para atender a demanda dos clientes. O processo denominado “aumentar a elasticidade do recurso” atualiza o estoque da gestão de capacidade. O estoque capacidade de recurso é separado do estoque de elasticidade, entretanto ambos fazem parte da capacidade que o provedor *IaaS* dispõe para atendimento das demandas dos usuários. O estoque da gestão de demandas é uma interação entre o fluxo do consumo de recursos *IaaS* e a capacidade disponível para atendimento das demandas. A capacidade para atender as demandas é o resultado da interação do fluxo de recursos e fornece aumento de elasticidade. Observa-se que nesse processo existe uma grande integração da gestão de capacidade com a gestão de demandas. O impacto é informado pelos gestores, de acordo com a importância do serviço para o provedor. Devido ao número de demandas de usuários, alguns serviços são considerados mais críticos que outros e, nesse caso, exigem um maior controle e monitoramento de desempenho. O parâmetro impacto é utilizado no modelo como parâmetro para subsidiar à tomada de decisão, realizada no processo de gestão do negócio, através de implementação realizada com o método *Analytic Hierarchy Process (AHP)*.

Em relação à área gestão do negócio, a Fig. 13 mostra como as decisões estratégicas são influenciadas pelos benefícios que se espera obter, os quais, por sua vez, são influenciados por fatores externos. O modelo proposto foi desenvolvido com base nos diagramas de causalidade para os processos e comportamentos de gestão de capacidade *IaaS*.

Conforme mostrado na Fig. 14, o fluxo do processo de gestão de negócio aborda e implementa o planejamento estratégico para a organização, considerando as capacidades internas dos recursos *IaaS*, bem como consolidando as capacidades da equipe e os processos de gestão. As decisões estratégicas do negócio são influenciadas por benefícios estabelecidos, os quais, por sua vez, são influenciados por fatores externos. Os benefícios a serem rastreados no modelo estão relacionados com a redução de custos, obtenção da satisfação do cliente, através da qualidade e da agilidade dos serviços prestados e à retenção de capacidades organizacionais.

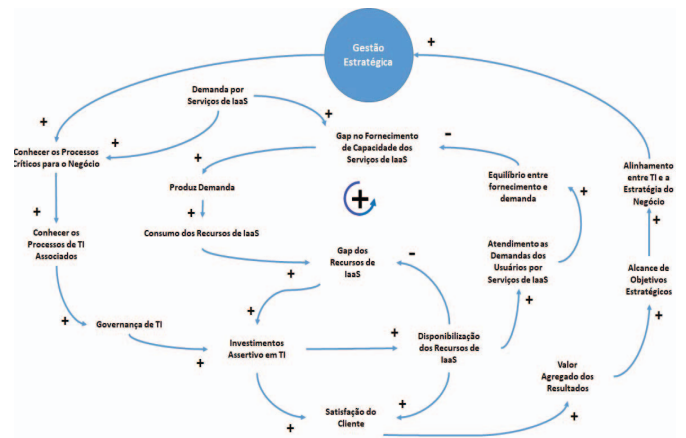


Fig. 13. Diagrama de causalidade da área de gestão do negócio.

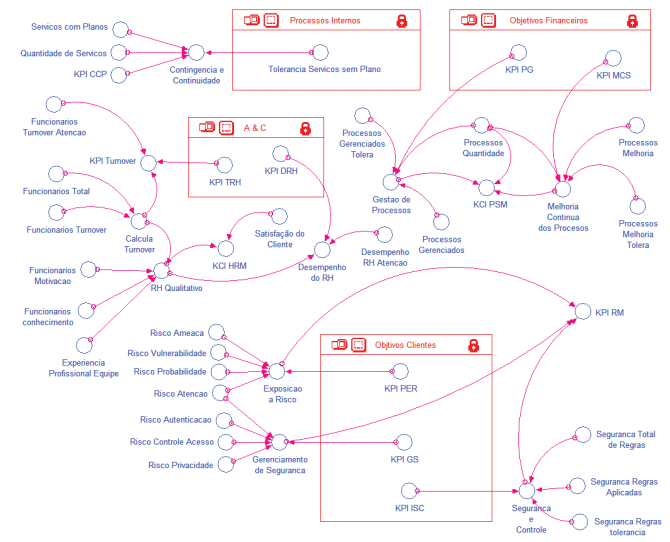


Fig. 14. Diagrama de fluxo do processo de gestão de negócio.

O processo de gestão do negócio, considera as informações oriundas dos processos de gestão da demanda e gestão da capacidade.

O processo de gestão de benefícios (Fig. 15), aborda os benefícios para a organização, de forma integrada com os demais processos.

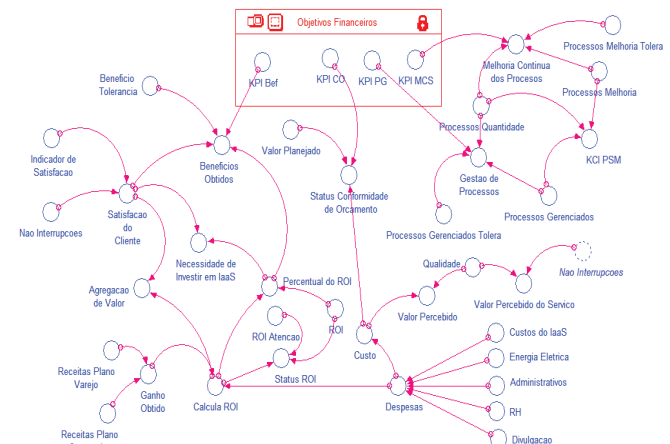


Fig. 15. Diagrama de fluxo do processo de gestão de benefícios.

Os benefícios obtidos para o negócio são o resultado do investimento na capacidade de infraestrutura, recursos (pessoas, *hardware*, *software*) e das decisões estratégicas tomadas pelos gestores. Os benefícios rastreados estão relacionados com a redução de custos, obtenção da satisfação do cliente, através da qualidade e da agilidade dos serviços, retorno do investimento (*return on investment - ROI*), e lucratividade.

Os benefícios implementados, possíveis de serem monitorados, foram: a) redução dos custos com os serviços; b) aumentar o nível de satisfação dos clientes do negócio com a entrega de serviços com qualidade; c) empregar o nível adequado de capacidades essenciais; d) retorno do investimento (*return on investment - ROI*) e; e) Lucratividade. Esses benefícios são alinhados a objetivos estratégicos do negócio, os quais dependem da infraestrutura *IaaS*.

De acordo com [27], os arquétipos de dinâmica de sistemas observados estão tipicamente presentes em ambientes onde os objetivos são estabelecidos, medidos através de indicadores de desempenho, e são perseguidos através da alocação de recursos para imprimir produtividade (capacidade) a funções e processos de TI que irão contribuir para a consecução destas metas [24, 51, 52].

Foram conectados todos os mecanismos base identificados em uma rede de causalidade e adicionado o conhecimento coletado sobre o problema que motivou esta pesquisa. Faz parte do método de construção de modelos de dinâmica de sistemas a identificação de fluxos de informação com o propósito de simular processos. No contexto desta pesquisa, foi considerado que os processos de TI representam as capacidades de TI em ação e a forma como elas interagem ao longo destes fluxos.

O desenvolvimento do modelo proposto seguiu as recomendações do plano *scorecard* dinâmico [18], onde as hipóteses dinâmicas envolveram a utilização dos modelos de referência e mecanismos base para a geração dos diagramas de causalidade que definiram a modelagem.

#### IV. ESTUDO DE CASO

A presente pesquisa envolveu uma triangulação entre revisão de literatura, observação e realização de estudo de caso [53]. Ao longo do processo de verificação e validação do modelo, foram utilizadas diferentes calibrações como parte do desenho dos experimentos, permitindo criar um ambiente ideal, reproduzir ambientes reais e testar ambientes alternativos. O aprimoramento do modelo foi definido a partir de estratégias de validação e verificação, com calibragem realizada por meio da execução de simulações.

A função das variáveis de calibragem em um modelo de simulação é ajustar seu comportamento à realidade das organizações ou aos ambientes dos cenários de simulação. A verificação de modelos de dinâmica de sistemas visa testar a sua correção interna, ou seja, se o modelo foi construído corretamente. A validação, por outro lado, visa testar a correção externa do modelo, ou seja, se ele é apropriado para atacar o problema alvo. De acordo com [50], a validação de um modelo pode ser definida como "estabelecer confiança na utilidade do modelo com respeito ao seu propósito". Assim, o processo de verificação e validação deve se preocupar com a criação de confiança suficiente em um modelo de simulação

para que os seus resultados sejam aceitos pelos usuários e *stakeholders*.

O estudo de caso realizado envolveu as seguintes fases:

1. Revisão de literatura;
2. Desenvolvimento do modelo;
3. Reunião com os gestores da empresa;
4. Coleta dos dados;
5. Utilização do modelo com diferentes cenários;
6. Apresentação e discussão dos resultados;
7. Tabulação de resultados;
8. Validação do modelo com os gestores;
9. Divulgação dos resultados finais.

Ao se tratar do tema validade em modelos de simulação com dinâmica de sistemas, é possível se afirmar que não existem modelos totalmente válidos porque todos são algo menor do que o objeto ou o sistema que está sendo modelado. É praticamente impossível provar, a priori, a correção de um modelo de simulação que visa gerar comportamentos inesperados, que nunca foram observados anteriormente [27]. Segundo [50], a validação de um modelo pode ser definida como "estabelecer confiança na utilidade do modelo com respeito ao seu propósito". Assim, o processo de verificação e validação deve se preocupar com a criação de confiança suficiente em um modelo de simulação para que os seus resultados sejam aceitos pelos usuários e patrocinadores (*stakeholders*). Isso pode ser feito tentando-se provar que o modelo está incorreto. Quanto mais testes forem realizados nos quais não se pode provar que o modelo está incorreto, mais aumenta a confiança no modelo [24]. Este processo de construção da confiança é gradual e fragmentado ao longo da metodologia de modelagem com *DS*.

Como etapa final dos testes de estrutura do modelo, foram executadas simulações com o objetivo de verificar se o modelo, em uma *configuração base* de variáveis de entrada e de calibragem, seria capaz de produzir os indicadores de desempenho (otimização de custos, otimização de processos, infraestrutura *IaaS*, investimento em RH, valor percebido do serviço) estimados para o provedor *IaaS*. Tais estimativas foram feitas considerando os dados atuais do cenário como entrada para o modelo (simulador).

A validação do comportamento realizada visou determinar se os padrões de comportamento gerados pelo modelo estariam próximos o suficiente dos principais padrões exibidos pelo sistema real. A validação de aprendizado envolveu a avaliação da utilidade do modelo para provocar a reflexão e a ampliação do entendimento sobre o problema.

##### A. Cenário de Avaliação - Provedor Alpha

O modelo proposto é genérico para suporte a tomada de decisão no gerenciamento da capacidade de serviços *IaaS* e poderá ser testado por qualquer organização que ofereça serviços em nuvem do tipo *IaaS*, considerando os aspectos mais comuns de avaliação.

Visando a avaliação do modelo, foi realizado um estudo de caso envolvendo um provedor *IaaS* em Fortaleza – CE - Brasil. Por razões de sigilo das informações o provedor será denominado empresa *Alpha*. O provedor *Alpha* existe há mais de 30 anos e tem atuação em todo o território nacional. Seus clientes são organizados em duas categorias:



- *Empresarial* - clientes do segmento corporativo, empresas, indústrias, instituições de ensino.
- *Varejistas* – pessoas, qualquer tipo de usuário que seja classificado como pessoa física.

O cliente empresarial, quando deseja contratar, ou alterar, um serviço, ele poderá escolher em opções definidas, o cliente não tem a opção de decidir o tipo de cada serviço, ele escolhe a opção que mais seja adequada a sua necessidade, variando em termos de processamento, capacidade de memória, espaço em disco, velocidade de tráfego, largura de banda.

**B. Simulação - Cenário #1**

No primeiro cenário avaliado, foram utilizados valores de dados de entrada semelhantes aos reportados pelos gestores e sistemas de apoio e monitoramento, utilizados pela equipe do provedor *Alpha*. A definição de alguns *KPIs* de entrada por não existirem registros históricos ou por serem inéditos para o controle das atividades, foram baseados na experiência e conhecimento dos gestores.

Após a informação dos dados e o processamento das informações, as informações de saídas foram geradas pelo modelo e analisadas pelos gestores. Considerou-se uma dinâmica de monitoramento para os serviços *IaaS*, em conformidade com o ciclo de gerenciamento de capacidade indicado pelo guia ITIL [4]. Os resultados das simulações foram confrontados com os dados reais da organização. O modelo proposto, com base nos resultados das informações geradas pós-simulação, apresenta orientações para dar suporte a tomada de decisão. Essas orientações são influenciadas pelos resultados de saídas dos *KPIs*, pela média gerada dos *KCIs* e pelas opções de escolhas geradas do método *AHP*.

A partir das simulações do primeiro cenário (vide entradas na Tabela II) as saídas foram analisadas pelos gestores do provedor *Alpha*.

TABELA II  
SAÍDAS DO MODELO - PRIMEIRO CENÁRIO

Variáveis de Saída	Valor Gerado	Padrão Desejado	Unidade
Conformidade de Orçamento	93.00	90.00	%
Desempenho dos Funcionários	88.50	90.00	%
Disponibilidade dos sistemas	95.00	90.00	%
Exposição a Risco	08.30	05.00	%
Gerenciamento de Segurança	93.00	95.00	%
Melhoria Contínua dos Processos	66.70	70.00	%
Consumo do Link	77.40	80.00	%
Consumo da Memória	45.00	70.00	%
Consumo do Processamento	40.00	60.00	%
Consumo do Storage	71.90	80.00	%
Performance da Virtualização	61.50	70.00	%
Processos Gerenciados	80.00	80.00	%
ROI	01.50	01.30	%
Segurança e Controle	95.00	95.00	%
Turnover de Funcionários	02.00	05.00	%

O modelo proposto utiliza no processo de avaliação o conceito de *Key Capacity Indicator (KCI)*, métrica agregada, que envolve um ou mais indicadores de desempenho relacionados ao gerenciamento de capacidade de serviços *IaaS*. Seu valor é gerado em termos percentuais, de acordo com a capacidade atendida pelo provedor *IaaS*. A Tabela III apresenta

os *KCIs* gerados pelo modelo proposto após a primeira simulação.

TABELA III  
KCIs GERADOS - PRIMEIRO CENÁRIO

KCI	Valor Gerado	Tolerância(T)	Unidade
Otimização de Custos	93.80	90.00	%
Otimização de Processos	85.70	80.00	%
Infraestrutura de <i>IaaS</i>	67.50	70.00	%
Investimento em RH	88.50	90.00	%
Valor Percebido do Serviço	80.80	85.00	%

Entre os resultados obtidos, a avaliação visual dos *KPIs*, *KCIs* e sugestões para tomada de decisão gerados pela simulação foram pontos importantes citados pelos gestores. Os indicadores gráficos relacionados à capacidade foram úteis na validação do comportamento do modelo.

Na Fig. 16 e Fig. 17 são apresentados *KPIs* e *KCIs* gerados pelo modelo, oriundos dos processos de gestão do negócio, gestão de benefícios, gestão de demandas e gestão de capacidade. Nesse ponto, existe a análise de comportamentos que envolve o processo como um todo.

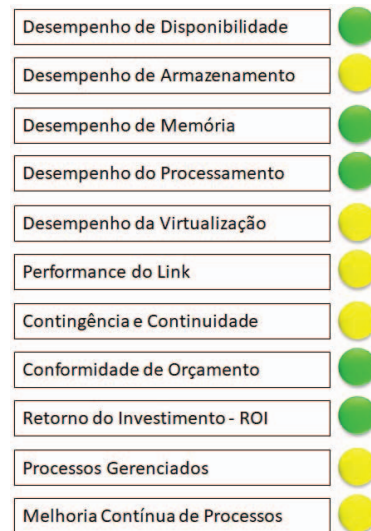


Fig. 16. Indicadores gerados pelos processos de gestão do negócio, gestão de demanda e capacidade - cenário #1.

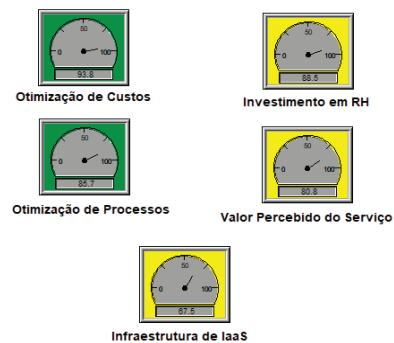


Fig. 17. KCIs gerados pelo processo de gestão do negócio - cenário #1.

Considerando os dados base do cenário atual, o modelo, na perspectiva multicritério (*AHP*) de retorno do serviço *IaaS* para o negócio, avaliou como normal a situação da carteira de clientes e reavaliação dos planos, não indicando necessidades

de expansão nem reavaliação de planos. Os gestores avaliaram que a decisão sugerida pelo modelo estava em conformidade com a decisão que seria tomada pelos mesmos caso esse cenário fosse real, indicando um ponto de atenção para a qualidade dos serviços (vide Fig. 18).

Expandir carteira de clientes	<input type="radio"/>
Reavaliar o valor dos planos	<input type="radio"/>
Melhorar a qualidade dos serviços	<input checked="" type="radio"/>

Fig. 18. Sugestão decisória sobre retorno do serviço - cenário #1.

Na perspectiva *processos de negócio*, os resultados da simulação do cenário avaliado indicaram não haver a necessidade de intervenções relacionadas aos processos de negócio do provedor *IaaS*.

Os resultados obtidos mostraram ainda que as ações em função da *infraestrutura IaaS* envolvem ações prioritárias relacionadas a *mudança da infraestrutura* para o cenário avaliado (Fig. 19). Caso os gestores queiram entender quais mudanças deveriam ser feitas, poderão verificar os *KPIs* relacionados com o desempenho de *storage*, processamento, *link internet*, a partir dos resultados da simulação.

Melhorar a infraestrutura IaaS	<input checked="" type="radio"/>
Redesenhar a infraestrutura IaaS	<input type="radio"/>
Manter a infraestrutura IaaS	<input type="radio"/>

Fig. 19. Sugestão decisória sobre a *infraestrutura IaaS* - cenário #1.

Em relação a tomada de decisão em função do *desempenho do RH* no cenário avaliado, os resultados da simulação não indicaram a necessidade de ações relacionadas com a contratação de pessoas e requalificação da equipe atual do provedor

A utilização das informações geradas pela simulação do cenário #1, de acordo com os resultados de entrevistas com os gestores do provedor *Alpha*, possibilita uma tomada de decisão proativa, podendo evitar a ocorrência de possíveis problemas.

### C. Simulação - Cenário #2

Na segunda simulação, o foco foi a avaliação de uma possível promoção, onde a demanda pelos serviços iria aumentar sensivelmente. Buscou-se analisar se a atual configuração dos recursos iria atender a um possível aumento de demanda, gerada por esse cenário promocional. Os gestores optaram por avaliar exclusivamente aspectos relacionados à demanda por serviços *IaaS*. Dessa forma, foram considerados os aspectos relacionados à capacidade técnica dos recursos de infraestrutura. Os parâmetros relativos a processos de negócio, equipe, segurança da informação e valor dos planos, permaneceram inalterados. Com dados relacionados à campanha promocional simulada, haveria aumento da demanda de clientes em 30% no segmento varejo passando de 400 para 520 e 20% no segmento corporativo, passando de 1600 para 1920 clientes. Dessa forma, o provedor *IaaS* entregaria serviços para 2440 clientes na simulação realizada. Foi utilizada a estimativa padrão, onde a cada 5 clientes, a ideia é que apenas 1 estaria utilizando os serviços em um dado instante de tempo.

Enquanto a Tabela IV mostra as saídas geradas pelo modelo proposto na simulação, a Tabela V apresenta os *KCIs* gerados para o segundo cenário.

TABELA IV  
SAÍDAS DO MODELO - SEGUNDO CENÁRIO

Variáveis de Saída	Valor Gerado	Padrão Desejado	Unidade
Conformidade de Orçamento	93.50	90.00	%
Desempenho dos Funcionários	88.40	90.00	%
Disponibilidade dos sistemas	94.40	90.00	%
Exposição a Risco	11.70	05.00	%
Gerenciamento de Segurança	86.70	95.00	%
Melhoria Contínua dos Processos	66.70	70.00	%
Consumo do Link	77.40	80.00	%
Consumo da Memória	52.00	70.00	%
Consumo do Processamento	56.30	60.00	%
Consumo do Storage	87.80	70.00	%
Performance da Virtualização	60.00	70.00	%
Processos Gerenciados	80.00	80.00	%
ROI	03.10	01.30	%
Segurança e Controle	95.00	95.00	%
Turnover de Funcionários	02.00	05.00	%

TABELA V  
KCIs GERADOS - SEGUNDO CENÁRIO

KCI	Valor	Tolerância(T)	Unidade
Otimização de Custos	93.60	90.00	%
Otimização de Processos	85.70	80.00	%
Infraestrutura de <i>IaaS</i>	67.50	70.00	%
Investimento em RH	84.30	90.00	%
Valor Percebido do Serviço	80.30	85.00	%

Nessa simulação, foram utilizados valores de dados de entrada fiéis aos reportados por gestores, pelos sistemas de apoio e monitoramento utilizados pela equipe do provedor.

A Fig. 20 apresenta os indicadores de desempenho gerados pelo modelo resultantes de dados calculados pelos processos de processo de gestão do negócio, gestão de demanda e gestão de capacidade.

Desempenho de Disponibilidade	<input checked="" type="radio"/>
Desempenho de Armazenamento	<input type="radio"/>
Desempenho de Memória	<input checked="" type="radio"/>
Desempenho do Processamento	<input type="radio"/>
Desempenho da Virtualização	<input type="radio"/>
Performance do Link	<input type="radio"/>
Contingência e Continuidade	<input type="radio"/>
Conformidade de Orçamento	<input checked="" type="radio"/>
Retorno do Investimento - ROI	<input checked="" type="radio"/>
Processos Gerenciados	<input type="radio"/>
Melhoria Contínua de Processos	<input type="radio"/>

Fig. 20. Indicadores gerados pelos processos de gestão do negócio, gestão de demanda e capacidade - cenário #2.

A simulação do cenário apresentado gerou indicativos de que o recurso de armazenamento (*storage*) ficaria comprometido,

indicando ainda que os recursos de processamento, virtualização, *link* e contingência e continuidade poderiam demandar atenção por parte dos gestores.

A Fig. 21, apresenta os indicadores e sinalizações de cores relativos aos *KCIs* gerados para o processo de gestão do negócio, gestão de benefícios, gestão de demandas e gestão de capacidade.

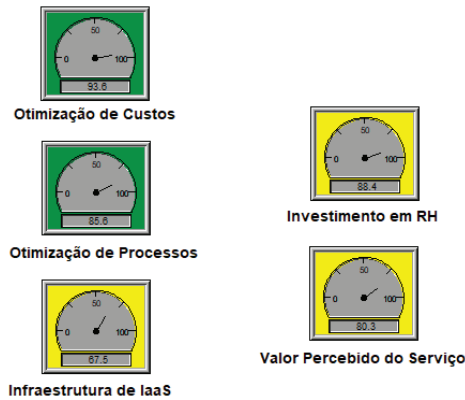


Fig. 21. Indicadores gerados pelo processo de gestão do negócio - cenário #2.

No segundo cenário, o módulo *AHP* do modelo não sinalizou necessidade de mudanças no processo de gestão de negócios. Já em termos do retorno para o negócio, os resultados indicaram a decisão de realizar mudanças na infraestrutura para o cenário avaliado. Os gestores avaliaram que as decisões sugeridas pelo modelo estavam em conformidade com as decisões que seriam tomadas, e naquele cenário, a capacidade de armazenamento do provedor precisaria ser aumentada.

Em relação ao *desempenho do RH*, os resultados da simulação indicaram existir a necessidade ações relacionadas com a contratação de pessoas para o cenário avaliado, descartando a demissão de pessoas.

## V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O processo de gerenciamento de capacidade de serviços de computação em nuvem é uma disciplina complexa, que envolve a interação entre a gestão de capacidades organizacionais, a gestão de demandas, recursos e a gestão de benefícios. Esta complexidade aumenta, devido às dificuldades em manter uma conformidade e alinhamento estratégico com o negócio, dificultando a tomada de decisões que tragam benefícios ao provedor *IaaS*.

A pesquisa envolveu a triangulação entre revisão da literatura, observação e estudo de caso em um provedor *IaaS* real. Um modelo de simulação baseado em dinâmica de sistemas foi proposto como solução para lidar com a complexidade inerente ao processo de gerenciamento de capacidade *IaaS*, visando aperfeiçoar o entendimento dos problemas envolvidos e gerar *pontos de reflexão* que possam aumentar a eficácia da gestão de capacidades essenciais de TI no processo de gerenciamento de capacidade [4].

O diagrama de causalidade foi construído, conectando-se todos os mecanismos base identificados, de acordo com as diferentes áreas de tomada de decisão envolvidas. Todos esses resultados e constatações subsidiaram a produção de um modelo inicial, que foi submetido a um processo iterativo e

cíclico de verificação, validação e refinamento. O modelo inicial, bem como todos os artefatos usados em sua concepção, foi apresentado aos gestores e *stakeholders*, através de *workshops* e reuniões, para a etapa de verificação estrutural. Os aspectos verificados foram: adequação de escopo, formulação das equações, consistência dimensional, parâmetros e condições extremas. A avaliação dos usuários foi a de que o modelo apresentou resultados coerentes.

Na validação do comportamento, foi avaliado se os padrões de comportamento gerados pelo modelo foram próximos o suficiente dos principais padrões exibidos pelo sistema real. Os seguintes aspectos foram avaliados: replicação de comportamento, adequação visual e sensibilidade dos atributos de saída às mudanças nas variáveis de entrada.

Os testes de sensibilidade das variáveis de entrada e de calibragem do modelo proposto foram executados em três momentos distintos: a) durante a execução dos testes estruturais, com o objetivo de corrigir equações; b) durante os testes de comportamento, com o objetivo de eliminar parâmetros de pouca relevância e calibrar corretamente o modelo e; c) durante a execução de testes de aprendizado, com o objetivo de gerar incerteza nas entradas e analisar riscos. Os resultados obtidos com os testes de comportamento foram apresentados aos usuários e subsidiaram o refinamento do modelo.

A fase final desta pesquisa consistiu na utilização, manutenção e avaliação da eficácia do modelo aprimorado. Foram realizadas sessões de utilização do modelo com gestores e equipes de TI da organização pesquisada. Buscou-se avaliar a simulação de possíveis ações de controle, visando evitar ou reduzir o comprometimento do alcance dos benefícios estabelecidos.

A Tabela VI apresenta uma síntese de estratégias utilizadas para verificação e validação do modelo, executadas durante a pesquisa.

O processo de validação do modelo incluiu entrevistas com doze gestores que trabalham com serviços *IaaS*, além de 9 gerentes de TI, onde o modelo foi apresentado, bem como os resultados das simulações realizadas. Foram analisadas três hipóteses relativas à utilidade, preferência e eficácia do modelo proposto. As hipóteses negativas foram refutadas no exercício de validade de aparência [39] realizado, como mostrado na Tabela VII.

Foi utilizada inferência estatística para o teste de hipóteses [54,55], por meio de um teste estatístico binomial [54] com 5% de significância (Tabela VII).

As contribuições geradas por esta pesquisa são de nível prático (desenho e implementação de um modelo quantitativo de apoio ao aprendizado organizacional) e empírico (validação do modelo). Pode-se elencar ainda as seguintes contribuições específicas a partir desta pesquisa:

- Proposta de um modelo orientado ao negócio e inovador que possibilita a realização de simulações de gerenciamento de capacidade em cenários *IaaS*;
- Proposta da utilização de indicadores de capacidade (*KCIs*) nas simulações do modelo;
- Facilidade para a comunicação dos resultados obtidos, através do uso de semáforos, em analogia aos painéis de controle propostos pelo *BSC*;



- Decisões sugeridas com base em múltiplos critérios nas simulações;
- Alinhamento entre objetivos do negócio (provedor *IaaS*), monitoramento do desempenho, comportamentos de gestão e decisões sugeridas pelo modelo nas simulações realizadas.

TABELA VI  
ESTRATÉGIAS PARA VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Verificação da implementação do modelo	Avaliar se a implementação do modelo estava livre de erros	Estratégia adotada
<i>Consistência dimensional</i>	Dimensões das variáveis estão consistentes e as unidades estão corretas	Testes do modelo e implementação em <i>software</i>
<i>Validação da Sintaxe</i>	Comportamento - as estimativas de gestão do modelo estão livres de erros de sintaxe	Testes do modelo e implementação em <i>software</i>
<i>Validação semântica</i>	Comportamento - as estimativas de gestão do modelo estão livres de erros semânticos	Testes do modelo e implementação em <i>software</i>
<i>Validação conceitual do modelo</i>	Avaliar a estrutura do modelo	Testes do modelo e implementação em <i>software</i>
<i>Confirmação da estrutura</i>	As estimativas do modelo correspondem às relações reais do processo	Revisão de literatura, observação e validade de aparência [39]
<i>Confirmação dos parâmetros</i>	Avaliação dos parâmetros do modelo em função do conhecimento do processo	Revisão de literatura, observação e validade de aparência [39]
<i>Condições extremas</i>	Avaliar o comportamento do modelo sobre condições extremas	Revisão de literatura, observação e validade de aparência [39]
<i>Sensibilidade do comportamento</i>	Identificação dos parâmetros de processos nos quais o modelo é altamente sensível	Revisão de literatura, observação e validade de aparência [39]

TABELA VII  
HIPÓTESES PARA TESTAR A VALIDADE DE APARÊNCIA DO MODELO

Hipóteses	% quem acredita	Existe evidência estatística suficiente para aceitar a hipótese?
<i>Preferência:</i> os gestores preferiram o modelo apresentado em relação à forma atual de suporte ao gerenciamento de capacidade.	95	sim
<i>Utilidade:</i> Os gestores consideraram o modelo útil.	100	sim
<i>Eficácia:</i> Os gestores consideraram o modelo eficaz para suporte à tomada de decisão em provedores <i>IaaS</i> .	90	sim

Como primeira ameaça à validade da pesquisa, aponta-se para restrições do ponto de vista *orçamentário*, de *logística* e, principalmente, de *acesso a provedores IaaS para validação*. Em relação à validade de construção, sempre há dúvidas de que as variáveis são bem compreendidas pelos gestores podendo não se estar obtendo resultados de simulação que correspondam à realidade.

Como trabalhos futuros, pretende-se:

- Replicar este estudo, considerando outras capacidades não exploradas, variando os cenários de negócio;
- Integrar modelos de dinâmica de sistemas com *frameworks* de capacidade em provedores *IaaS*;
- Buscar uma evolução do módulo *MCDM* do modelo, estendendo o método *AHP* clássico para tratar outros tipos de decisões ou avaliar a utilização do método *analytic network process (ANP)* em nova modelagem;
- Explorar o potencial de modelos de simulação para a formação de gestores no gerenciamento de capacidade.

## REFERÊNCIAS

- [1] E. F. Coutinho, F. R. C. Sousa, D. G. Gomes, J. N. de Souza. "Elasticidade em Computação na Nuvem: Uma Abordagem Sistemática". XXXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2013.
- [2] J. Stadlober. "Help-Desk e SAC com Qualidade". Rio de Janeiro: Brasport, 2006.
- [3] C. B. Califf, S. Sarker, M. Skilton, The Role and Value of a Cloud Service Partner, MIS Quarterly Executive, vol. 15, no. 3, pp. 231-242, 2016.
- [4] Office of Government Commerce - OCG, "ITIL v3 (Information Technology Infrastructure Library)/Service Operation". London: TSO, 2007.
- [5] N. Wang, H. Liang, Y. Jia, S. Ge, Y. Xue, Z. Wang, "Cloud computing research in the IS discipline: A citation/co-citation analysis", Decision Support Systems, vol. 86 pp. 35-47, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2016.03.006>.
- [6] S. Schulte, C. Janiesch, S. Venugopal, I. Weber, P. Hoensch, "Elastic Business Process Management: State of the art and open challenges for BPM in the cloud", Future Generation Computer Systems, vol. 46, pp. 36-50, 2015.
- [7] S. S. Manvi, G. K. Shyamb, "Resource management for Infrastructure as a Service (IaaS) in cloud computing: A survey", Journal of Network and Computer Applications vol. 41, pp. 424-440, 2014.
- [8] IT Partners, ITIL Intermediate - Material de Referência. Versão 1.1. São Paulo: IT Partners Assessoria e Consultoria Ltda, 2014.
- [9] Isaca, COBIT 5 - Edição em Português. "Modelo Corporativo para Governança e Gestão de TI da Organização". São Paulo Chapter, 2014.
- [10] R. S. Kaplan, D. P. Norton, The balanced scorecard: measures that drive performance. Harvard Business School Publishing, 2005.
- [11] C. Bartolini, C. Stefanelli, "Business-driven IT Management", Proceedings of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), pp. 963-969, 2011.
- [12] M. Kajbaf, N. Madani, A. Suzanger, S. Nasher, M. Kalantarian, "An IT Service Reporting Framework for Effective Implementation of ITIL Continual Service Improvement Process Conforming to ISO/EC 20000", in: Proceedings of Fifth International Conference on Digital Society (ICDS), 2011.
- [13] A. Lahtela, M. Jantti, J. Kaukola, "Implementing an ITIL-based IT Service Management Measurement System", in: Proceedings Fourth International Conference on Digital Society, St. Maarten, pp. 249-254, 2010.
- [14] Hair, Josepj F. Jr, Black, William, Babin, Barry J., Anderson, Ralph E., Tatham, Ronald L. "Análise Multivariada de Dados". 6ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- [15] X. Liao, Y. Li, B. Lu, "A model for selecting an ERP system based on linguistic information processing", Inf. Syst., vol. 32, no. 7, pp. 1005-1017, Nov. 2007. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.is.2006.10.005>.
- [16] T. R. Bezerra, J. A. B. Moura, A. S. Lima, "A system dynamics model to support strategic decision making on IT outsourcing: A case study at a state revenue agency in Brazil". In: NOMS 2014 2014 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, 2014, Krakow. 2014 IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS). pp. 1-4.

- [17] J. A. N. de Oliveira, "Um Modelo Formal para Avaliar o Valor de Negócio e sua Aplicação no Contexto de Gestão e Governança de TI". Universidade Federal de Campina Grande, 2010.
- [18] A. C. Fernandes, Scorecard Dinâmico - Em Direção à Integração da Dinâmica de Sistemas com o Balanced Scorecard. Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2003.
- [19] A. S. Lima, J. Sauv , J. N. de Souza, "Capturing the Quality and Business Value of IT Services Using a Business-Driven Model". IEEE Transactions on Network and Service Management, 2012.
- [20] J. Sterman, "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World", Irvin-McGraw-Hill, Chicago, IL, 2000.
- [21] A. Rodrigues, J. Bowers, "The role of System dynamics in project management," International Journal of Project Management, vol. 14, pp. 213-220, 1996.
- [22] Association of Business Process Management Professional, "ABPMP, BPM CBOK Versão 3.0". 1.ª Edi o em Portugu s, São Paulo, 2013.
- [23] A. A. Fernandes, V. F. Abreu, "Implantando a Governança de TI - Da Estratégia   Gestão dos Processos e Serviços". 3.ª Edi o. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.
- [24] J. Morecroft, "Strategic Modeling and Business Dynamics - A Feedback Systems Approach". Wiley, New Delhi, India, 2008.
- [25] Brasil, "RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO DO TCU - TC N  025.994/2014-0". Tribunal de Contas da União, Brasília, 2015.
- [26] K. Karthik, Yung-Hsiang Lu, "Cloud Computing For Mobile Users: Can Offloading Computation Save Energy". PurdueUniversity, IEEE Computer Society, 2010.
- [27] T. R. Bezerra, Capturando a Dinâmica da Gestão do Suprimento de Capacidades Essenciais de Tecnologia da Informa o para o Apoio a Decisões Orientadas a Riscos e Benefícios: Uma aplica o no contexto de organiza es públicas no estado de Alagoas, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- [28] Hamza Quarnoughi, Jalil Boukhobza, Frank Singhoff, Stéphane Rubini, "A Cost Model for Virtual Machine Storage in Cloud", Universit  de Bretagne Occidentale, 2016.
- [29] "Measuring Storage Performance". White Paper Educational. CloudByte, Cupertino-USA, 2013.
- [30] R. N. Calheiros, R. A. Beloglazov, C. A. F. De Rose, R. Buyya, "CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms". Softw. Pract. Exper. 2011.
- [31] L. H. A. Monteiro, "Sistemas Din micos" - 3 Ed. - São Paulo: Editora Livraria Física, 2011.
- [32] C.-C. Wei, C.-F. Chien, M.-J. J. Wang, "An AHP-based approach to ERP system selection", International Journal of Production Economics, vol. 96, no. 1, pp. 47-62, April 2005. [Online]. Available: <http://ideas.repec.org/a/eee/proeco/v96y2005i1p4762.html>.
- [33] G. E. Phillips-Wrem, G. A. Forgiione, "Aided search strategy enabled by decision support", Inf. Process. Manage. vol. 42, no. 2, pp. 503-518, Mar. 2006. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ipm.2005.02.004>.
- [34] S.-I. Chang, D. C. Yen, C. S. NG, W.-T. Chang, "An analysis of IT/IS outsourcing provider selection for small- and medium-sized enterprises in Taiwan", Information & Management, Apr. 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.im.2012.03.001>.
- [35] J. Wan, H. Zhang, D. Wan, Evaluation on information technology service management process with AHP, Technology and Investment, vol. 2, no. 1, pp. 38-46, Apr. 2011.
- [36] Project Management Institute - PMI. "A Guide to the Project Management Body of Knowledge - PMBOK Guide", 2012 Edition, Pennsylvania-USA 2013.
- [37] E. W. T. Ngai, "Selection of web sites for online advertising using the AHP", Inf. Manage., vol. 40, no. 4, pp. 233-242, Mar. 2003. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1016/S03787206\(02\)00004-6](http://dx.doi.org/10.1016/S03787206(02)00004-6)
- [38] S. Pfleeger, R. Cunningham, Why Measuring Security Is Hard. IEEE Security & Privacy, vol. 8, no. 4, 2010.
- [39] P. Runerson, M. Host, "Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering", Springer: Empiric Software Eng., vol. 14, pp.31-164, DOI 10.1007, 2009.
- [40] N. S. Chaudan, A. Saxena, J. V. R. Murphy, "An Approach to Measure Security of Cloud Hosted Application. Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM)", IEEE International Conference on. Bangalore,  ndia, 2013.
- [41] A. S. Lima, J. N. de Souza, J. A. B. Moura, I. P. da Silva, "A Consensus-Based Multicriteria Group Decision Model for Information Technology Management Committees", IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 65, pp. 1-17, 2018.
- [42] M. Ribas, C. G. Furtado, J. N. de Souza, G. C. Barroso, J. A. B. Moura, A. S. Lima, F. R. C. Sousa, "A Petri net-based decision-making framework for assessing cloud services adoption: The use of spot instances for cost reduction". Journal of Network and Computer Applications, vol. 57, p. 102-118, 2015.
- [43] Fei Xu, Fangming Liu, Hai Jin and Athanasios V. Vasilakos, "Managing Performance Overhead of Virtual Machines in Cloud Computing: A Survey, State of the Art, and Future Directions", Proceedings of the IEEE, vol. 102, no. 1, pp. 11-31, 2014.
- [44] R. F. de Mello, "Sistemas Dinâmicos e Técnicas Inteligentes para a Predi o de Comportamento de Processos: Uma Abordagem para Otimiza o de Escalonamento em Grades Computacionais", 129p, Tese (Livre Docência) Instituto de Ciências Matemáticas e de Computa o da Universidade de São Paulo, USP-São Carlos, 2010.
- [45] S. Garg, S. Versteeg, R. Buyya, "A framework for ranking of cloud computing services". Future Generation Computer Systems, pp. 1012-1023, 2013.
- [46] K. Yuen, "Software-as-a-Service Evaluation in Cloud Paradigm: Primitive Cognitive Network Process Approach". Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing, Communication and Computing, 2012.
- [47] ISEE SYSTEMS, Stella software, <https://www.iseesystems.com/store/products/stella-architect.aspx>.
- [48] R. Buyya, C. Yeo C., S. Venugopal, J. Broberg, I. Brandic, "Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility". Future Generation Computer Systems, Elsevier Science, vol.25, 2009.
- [49] Q. Zhang, L. Cheng, R. Boutaba, "Cloud computing: state-of-the-art and research challenges". Journal of Internet Services and Applications, Springer London, vol. 1, n. 1, p. 7-18, maio 2010. ISSN 1867-4828. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13174-010-0007-6>.
- [50] Y. Barlas, "Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models". European Journal of Operational Research, vol. 42, n. 1, p. 59-87, 1989.
- [51] R. J. Macachy, "Software Process Dynamics". John Wiley & Sons, 2007.
- [52] T. K. Abdel-Hamid, "The dynamics of software project staffing: a system dynamics based simulation approach". IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 15, n. 2, p. 109-119, 1989.
- [53] R. K. Yin, "Estudo de Caso: Planejamento e M todos", São Paulo: Bookman, 2005.
- [54] J. O. Berger and M. Delampady. "Testing precise Hypotheses", Statistical Science 2, 1987.
- [55] G. Casella, R. L. Berger, "Statistical Inference", second ed., Duxbury Advanced Series, California, 2002.
- [56] R. Rockmann, A. Weeger, H. Gewald, "Identifying Organizational Capabilities for the Enterprise-wide Usage of Cloud Computing", Proceedings of Pacific-Asia Conference on Information Systems - PACIS, 2014.
- [57] N. M. Carvalho, D. A. Mesnace, F. V. Brasileiro, "Capacity planning for IaaS cloud providers offering multiple service classes", Future Generation Computer Systems, vol. 77, pp. 97-111, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2017.07.019>.
- [58] A. B. Sousa, A. S. Lima, N. de Souza, A. Moura and A. C. da Silva, "Business Risk-based Redundancy Points Identification in Synchronous Digital Hierarchy Optical Networks", IEEE Latin America Transactions, vol. 16, n. 8, pp. 2254-2260, 2018.
- [59] D. A. N brega, G. Fenner and A. S. Lima, "A Risk Management Methodology Proposal for Information Technology Projects", IEEE Latin America Transactions, vol. 12, no. 5, pp. 643-656, 2014.

- [60] T. Rebs, M. Brandenburg, S. Seuring, "System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach", *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 1265-1280, 2019.
- [61] M. J. Radzicki, "System dynamics and its contribution to economics and economic modeling, *System Dynamics: Theory and Applications*", Springer, 2020.



**Germano Fenner** é Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Ceará (MDCC-UFC). Professor do UniFanor, atuando em gerência de projetos e processos, dinâmica de sistemas, governança de TI e *cloud computing*.



**Alberto Sampaio Lima.** Doutor em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará. PÓS-DOUTORADO na Universidade Federal de Campina Grande-PB (2017-2019). Pesquisa em Gerenciamento de serviços, Inteligência Computacional Aplicada e BDIM.



IFIP/TC6.

**José Neuman de Souza** é Membro SÊNIOR do IEEE e Professor TITULAR da Universidade Federal do Ceará. Possui DOUTORADO em Informatique - Universite de Paris VI (Pierre et Marie Curie) (1994), França. PÓS-DOUTORADO SÊNIOR (2008-2009) no LNCC. Representante brasileiro no



**José Antônio Beltrão Moura.** Possui doutorado em *Electrical Engineering - University of Waterloo* (1982). Atua na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) nos seguintes temas: avaliação de desempenho, software livre, Economia de TI, BDIM e jogos de inteligência coletiva (*crowdsourcing*).



**Tarcio Rodrigues Bezerra.** Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (2015). Professor do Instituto Federal de Alagoas desde 1996. Atua nas áreas de Infraestrutura de Redes de Computadores e em Gestão de Segurança da Informação.