Contratação de Serviços de Telecomunicações: Competição entre Provedores, Configurações de Rede e Custos – Modelagem com Dados Imprecisos de Demanda e Tarifa

Bruno Quirino De Oliveira
Departamento de Engenharia – ENG, Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC-GO
Av. Universitária, 1440, Área III, Bloco G, Sala 108, CEP 74605-010, Goiânia-GO, Brasil
brquirino@gmail.com

Marllon Thiago Lopes Dos Santos
Departamento de Engenharia – ENG, Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC-GO
Av. Universitária, 1440, Área III, Bloco G, Sala 108, CEP 74605-010, Goiânia-GO, Brasil
marllon.com@gmail.com

Marcos Antônio DeSousa
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – EEEC, Universidade Federal de Goiás – UFG
Av. Universitária, n. 1488, Qd. 86, Bl. A, 3º Piso, Sala 08, CEP 74605-010, Goiânia-GO, Brasil
marcos@eeec.ufg.br

RESUMO

Mudanças substanciais estão ocorrendo no tradicional sistema de telecomunicações. Sabe-se que cada empresa, independente da sua dimensão ou atividade, possui características próprias quanto à utilização dos serviços de telecomunicações. Os fornecedores destes serviços, por sua vez, enfrentam dificuldades em atender as demandas personalizadas de cada cliente, devido à incerteza em alguns dados, como demanda e tarifa. Este artigo apresenta um MILP para ajudar no planejamento de serviços de telecomunicações. Os principais componentes de custo e receita são identificados e o modelo é desenvolvido para determinar a configuração da rede (serviços, tecnologias, entre outros) que minimize os custos esperados pelo operador do sistema e também pelo cliente. Os conceitos de números *fuzzy* são adotados para avaliar o risco técnico-econômico em situações de imprecisão nos dados de demanda e de tarifa. Resultados de experimentos computacionais são apresentados e discutidos.

PALAVRAS CHAVE. Serviços de Telecomunicações, modelo matemático, análise técnico-econômica.

ABSTRACT

Substantial changes often occur in traditional telecommunications systems. We know that every company, regardless of their size or activity, has its own characteristics regarding the use of telecommunications services. The providers of these services, in turn, struggle to meet the personalized demands of each client, due to uncertainty in some data, such as demand and price. This article presents a MILP to assist in strategic planning of telecommunication services. The main components of costs and revenues are identified and the model is developed to determine the network configuration (services, technologies, among others) that minimizes the expected costs of the system operator and also by the customer. The concepts of *fuzzy* numbers are used to determine the techno-economic risk in situations of uncertainty in the data demand and price. Results of computational experiments are presented and discussed.

KEYWORDS. Telecommunication services, mathematical model, techno-economical analyses.

1. Introdução

O setor de telecomunicações está em constante desenvolvimento, permitindo que novas tecnologias possam surgir no mercado, proporcionando assim, uma melhoria nos serviços oferecidos ao cliente.

Essas tecnologias são oferecidas através das operadoras de telefonia por meio de contratos de prestação de serviços, que podem contemplar o fornecimento de tecnologia para a viabilização do produto final e/ou a comercialização de equipamentos.

O cliente pode fazer a sua escolha de acordo com as necessidades de sua empresa. Menor preço e maior velocidade de transmissão são algumas condições a serem avaliadas.

Assim, o planejamento e a comercialização de serviços de telecomunicações pelas operadoras precisa levar em consideração estes novos aspectos mercadológicos. Além disso, o porte dos problemas, a velocidade das transformações e as inúmeras possibilidades a analisar exigem metodologias consistentes, flexíveis (suportando diferentes cenários) e apoiadas em ferramentas computacionais. Os valores significativos geralmente envolvidos neste tipo de situação tornam desejável o uso de modelos matemáticos de otimização.

As estratégias para a expansão da rede de acesso (seguimento da rede responsável pelo atendimento do cliente final), seguindo um caminho eficiente de custos, e ao mesmo tempo suficientemente flexíveis para oferecer um conjunto complexo de novos serviços, são cruciais para as empresas operadoras, provedores de serviço e fabricantes de equipamentos. A decisão de se investir em uma nova tecnologia está sujeita a riscos e incertezas inerentes ao mercado competitivo. Qualquer que seja a metodologia empregada depara-se com problemas nos quais a quantidade de informações a serem tratadas é enorme, como por exemplo:

- várias soluções tecnológicas, com suas respectivas topologias, equipamentos e custos;
- grande diversidade de serviços, acompanhada de diferentes taxas de penetração, taxas de transmissão e valores de receita;
- características das áreas a serem planejadas: quantidade de centros de fios, disponibilidade da rede instalada, demandas, etc.

O principal desafio, portanto, é encontrar a combinação apropriada das tecnologias relevantes para disponibilizar uma solução multi-serviço escalável e versátil. Várias propostas de modelagem e técnicas de solução para problemas de alocação de recursos em sistemas de telecomunicações podem ser encontradas na literatura. Na linha de pesquisa orientada à minimização de custo, contemplando várias tecnologias de acesso e métodos de análise, podem ser citados os trabalhos de Rouskas et al. (2008), Bienstok et al. (2006) e Carlson e Authié, 2001).

Uma característica bastante comum entre estas metodologias de planejamento é o fato de que o dimensionamento da rede depende fortemente da precisão com que os dados de entrada são apresentados aos modelos. Assim, os dados, como por exemplo a penetração (aceitação) de um determinado serviço, são elementos fundamentais que precisam ser fornecidos pelo planejador. Porém, estas informações "precisas" nem sempre estão disponíveis durante a etapa de planejamento, o que é natural num contexto de rápido desenvolvimento tecnológico e surgimento de novos serviços. O resultado do planejamento, portanto, pode ser sensível à variação destes dados de entrada. A ferramenta computacional desenvolvida para este fim também precisa estar preparada para absorver estas "imprecisões" existentes nos dados do planejamento.

Como primeira conseqüência dos dados imprecisos alguns parâmetros dos modelos, baseados nesses dados, não são mais fixos. A maneira de resolver o problema matemático, não mais "exato", pode mudar consideravelmente. A idéia natural é tentar manter o problema passível de solução incorporando ao mesmo tempo aspectos da imprecisão no sentido de flexibilizar o modelo e torná-lo mais fiel ao ambiente que pretende retratar. As técnicas mais usadas são a programação estocástica e a aplicação de conceitos de conjuntos nebulosos. Outra opção é utilizar intervalos para a representação de valores numéricos. Vários trabalhos sobre o assunto são relatados no *survey* organizado por Sahinidis (2004).

Tendo em vista o cenário acima, esse trabalho tem como objetivo propor um modelo de Programação Linear Inteira Mista (*Mixed Integer Linear Problem* – MILP) (Bazaraa et al., 1990) que auxilie no planejamento estratégico para a prestação de serviços coorporativos de telecomunicações. O modelo permite avaliar a escolha da solução tecnológica mais viável, economicamente, a partir de dados imprecisos de demanda e tarifa. Além disso, serão utilizados critérios de exclusividade para que o modelo possa escolher apenas uma prestadora de serviços. O Método do Valor Presente – VP (Pilão e Hummel, 2004) é utilizado para avaliar os custos de manutenção dos serviços, diante de contratos de fidelização realizados entre o cliente e a operadora contratada.

O trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 lista os serviços disponíveis no mercado corporativo e as soluções tecnológicas necessárias para oferecê-los. A modelagem matemática utilizada no planejamento estratégico é descrita na seção 3. A seção 4 abrange uma explicação sobre a modelagem matemática utilizando a lógica *Fuzzy*. A seção 5 apresenta o estudo de caso realizado. Por fim, a seção 6 é dedicada aos comentários finais.

2. Tecnologias e Serviços

A integração dos serviços de telefonia com a rede privada e pública de dados abrem possibilidades de comunicação mais abrangentes, tanto em termos geográficos de novos serviços, como de novas tecnologias. As centrais telefônicas digitais, com o advento do microcomputador, trouxeram flexibilidade, confiabilidade, diminuição de tamanho, modularidade, economia no consumo de energia e facilidade na incorporação de novos serviços de telecomunicações. Tornou possível a integração entre a transmissão digital e a comutação digital. Na realidade, essa integração foi um grande passo para evoluir na direção da RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados - ISDN-*Integrated Services Digital Network*) (Jeszensky, 2004). O objetivo dessa rede é integrar vários tipos de serviços, como Voz e transmissão de dados, em uma única rede para melhor aproveitar os seus recursos operacionais.

Comprova-se uma introdução crescente de diferentes soluções de Voz (VoIP – Voz sobre protocolo Internet, por exemplo) e dados, que visam inicialmente a troca de informações inter e intra-redes, via os canais de dados existentes nas redes corporativas. Seguindo esta tendência, as empresas operadoras do setor de telecomunicações provêm, basicamente, quatro tipos de serviços para o ambiente corporativo, caracterizados pela forma como a informação é apresentada ao usuário: Voz, Dados e Imagens, Vídeo e Multimídia.

Para garantir serviços de Voz e dados de qualidade, as operadoras de telecomunicações disponibilizam uma plataforma tecnológica diversificada: sistemas de comutação de alto desempenho (centrais telefônicas digitais, roteadores, entre outros), servidores de dados, sistemas de transmissão (modems, fibras ópticas, sistemas de microondas) e equipamentos terminais (telefones fixos e móveis, terminais de dados, etc.). Propiciando, assim, facilidades diversificadas aos clientes, independente do tipo de serviço solicitado.

3. A Modelagem

A modelagem matemática é desenvolvida para obter uma solução tecnológica mais adequada para atender diversos perfis de clientes em termos de demanda, custo e qualidade dos serviços corporativos de telecomunicações a serem contratados.

O objetivo principal é garantir os serviços solicitados e ao mesmo tempo buscar uma solução economicamente mais viável. A demanda a ser contratada de cada serviço, as soluções tecnológicas possíveis, as limitações técnicas de capacidade e os custos de implantação, manutenção e aluguel de equipamentos também fazem parte do processo de decisão.

3.1 Aplicabilidade

Uma vez que a análise envolve valores monetários, comparação de custos, taxas de juros e preços tarifários em instantes de tempo diferentes, faz-se necessário o uso de uma técnica de análise conhecida como Engenharia Econômica. Para a modelagem são necessários conhecimentos prévios dessa técnica, dos serviços contemplados e das plataformas tecnológicas escolhidas.

Engenharia Econômica

Inicialmente, é preciso lembrar que a diferentes serviços associam-se distintos valores. A tarifação pode ser baseada em um valor fixo (mensal, por exemplo, como uma assinatura) ou então depender do tempo efetivo de utilização do serviço. Às vezes, uma combinação das duas formas é usada. Por outro lado, a receita pode ser distribuída ao longo do período de tempo analisado. Neste caso, comparações com o custo (de implantação de equipamentos, de operação e manutenção, etc.) fazem mais sentido quando colocadas em uma mesma unidade de medida. Como uma possibilidade, pode-se "trazer" o custo para seu Valor Presente (VP), usando métodos de Matemática Financeira. As tarifas também precisam ser calculadas na mesma base de tempo.

Portanto, quando se desenvolve um planejamento estagiado, o estudo de caso traz duas informações básicas:

- *Receita (ou tarifa) gerada pelos serviços oferecidos*: a receita total gerada em cada estágio e também a receita por serviço;
- *Custo das redes:* em cada estágio do planejamento haverá um custo de implantação (ou manutenção) para cada solução tecnológica considerada, representando o investimento em equipamentos, cabos e infra-estrutura. Porém, quanto mais recente a solução tecnológica, mais difícil será levantar estas informações. Uma maneira de simplificar o problema é supor que o custo de manutenção representa uma parcela do custo de implantação da rede (DeSousa, 2004).

De posse dos custos de implantação, operação e manutenção, da receita (ou tarifa) gerada em cada estágio de planejamento e ainda da taxa de retorno média anual mínima admitida (taxa de atratividade do investimento) é possível fazer uma análise econômica comparando as diferentes alternativas de investimento. Essa análise pode ser feita utilizando diferentes métodos, dentre eles o VP, que é o método adotado neste trabalho (Pilão e Hummel, 2004).

A característica essencial deste método é a análise das diferentes alternativas de investimento usando, para efeito de comparação, o valor presente equivalente a cada um dos fluxos de caixa representativos de cada alternativa considerada.

Portanto, deve ser observado que a análise econômica não é um procedimento estático, ou seja, para a realização deste estudo deve-se, primeiramente, estipular um intervalo de vigência para o planejamento (como por exemplo, contrato de fidelidade) e contabilizar todos os "custos" ao longo deste período.

Serviços

Os serviços utilizados no modelo necessitam de informações referentes à transmissão de dados e Voz, quantidade de canais de interconexão E1 – *link* de acesso entre a operadora de telecomunicações e a empresa contratante – com taxa de transmissão de 2,048 Mbps. As tarifas de aluguel e utilização também devem ser conhecidas.

Equipamentos

Mesmo especificando a tecnologia, existe a necessidade de equipamentos para o fornecimento dos serviços. Dados como: capacidade, valor referente ao custo de implantação dos aparelhos e valores de manutenção, durante a vigência do contrato, se tornam necessários.

3.2 Representação Gráfica

Os serviços contratados pela empresa devem ser atendidos por uma solução tecnológica candidata. Cada serviço possui uma demanda de forma que a solução tecnológica escolhida deve ser capaz de suprir o fluxo de todos os serviços contratados. Porém neste trabalho a demanda é considerada imprecisa, onde o cliente pode optar por uma faixa de valores que mais atende a sua necessidade, tornando o modelo mais flexível. A Figura 1 apresenta o diagrama de fluxo de

demanda para os serviços a serem contratados por uma empresa. Os principais elementos desta representação gráfica são:

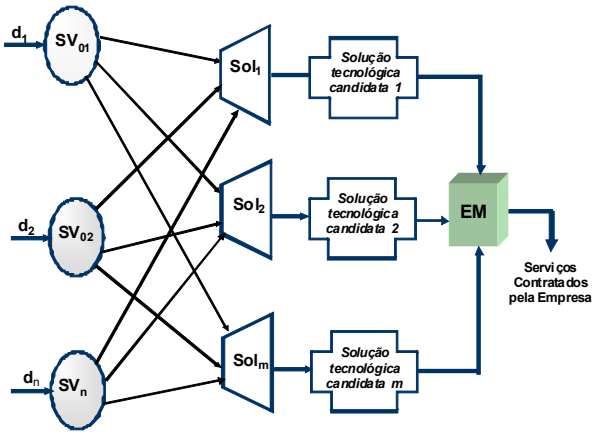

Figura 1. Fluxo de demanda para os serviços a serem contratados.

- ***Nós de Serviços*** **(SV_n)**: os nós de serviços representam o ponto de concentração de saída/entrada da empresa. É o local onde é feita a conexão entre a empresa contratante e a operadora dos serviços.
- ***Nós de Solução Tecnológica*** **(Sol_m)**: cada nó de solução tecnológica é responsável pelo agrupamento das demandas de todos os serviços previstos para serem atendidos.
- ***Nós de Empresa*** **(EM)**: os nós de empresa representam os clientes das operadoras de telecomunicações. As demandas dos nós de serviço a serem atendidas pela(s) operadoras, representam o contrato de prestação de serviço para estas empresas. Neste trabalho está sendo considerada a análise individualizada, ou seja, um contrato de cada vez.
- ***Arcos de Escoamento de Demanda***: os arcos de escoamento que fazem a ligação entre os nós de serviços e os nós de solução tecnológica são definidos por índices "*i*" e "*j*", que representam, respectivamente, os serviços e as soluções tecnológicas. O fluxo de demanda escoado por estes arcos é utilizado para garantir o atendimento das necessidades da empresa contratante. O menor custo total do contrato é o objetivo principal do modelo de otimização. Ele depende da solução tecnológica escolhida e das tarifas cobradas pelos serviços, os quais são diretamente influenciados pelo fluxo de demanda nestes arcos de escoamento.
- ***Arcos de Solução Tecnológica Candidata***: a solução adotada para a elaboração do modelo considera toda a planta disponibilizada pela operadora candidata. Outras soluções podem ser adotadas, desde que suas características tecnológicas atendam os requisitos necessários e sejam definidas pelo planejador.

3.3 Formulação Matemática

O modelo matemático formulado é um problema de *Programação Linear (binária) Inteira Mista* (MILP) (Bazaraa et al., 1990), adaptado do trabalho de (DeSousa et al. 2006). Apresenta a seguinte formulação:

$$Min \sum_{(i,j)\in A_s} fid \cdot \tilde{t}_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{(i,j)\in A_t} \sum_{k\in S_v} (CI_{ki} + CM_{ki}) \cdot X_{ijk} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{(i,j)\in A_s} Y_{ij} = \tilde{d}_i, \forall i \in S_v \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j)\in A_t} Cap_{ki}^{X} \cdot X_{ijk} \geq Y_{ki}, \ \forall (k,i) \in A_s \quad (3)$$

$$\sum_{k \in S_v} X_{ijk} \leq fcs \cdot Z_{ij}, \ \forall (i,j) \in A_t \tag{4}$$

$$\sum_{(i,j) \in A_t} Z_{ij} = 1 \tag{5}$$

Onde:

S_v : conjunto de todos os nós de serviço;

A_s : conjunto de arcos de escoamento de demanda, que ligam os nós de serviços *"i"* aos nós de solução tecnológica *"j"*;

A_t : conjunto de arcos de solução tecnológica candidatas, que ligam os nós de solução tecnológica *"i"* aos nós de empresa *"j"*;

fid : fator de fidelidade. Representa o número de períodos (em meses) de vigência do contrato;

Y_{ij} : variável real que representa o fluxo de demanda atendido pelo arco $(i,j) \in A_s$;

$\tilde{t}_{ij}$: tarifa mensal imprecisa do arco (i,j); ou seja, tarifa mensal do serviço *"i"* na solução tecnológica *"j"*;

X_{ijk} : variável binária (1 ou 0) associada a cada solução tecnológica candidata, no arco $(i,j) \in A_t$, para atender o serviço *"k"*;

CI_{ki} : custo de implantação, da solução tecnológica *"i"*, para atender o serviço *"k"*;

CM_{ki} : custo de manutenção total em valor presente, da solução tecnológica *"i"*, para atender o serviço *"k"*;

$\tilde{d}_i$:demanda imprecisa, em minutos mensais a serem contratados, prevista para ser atendida em cada nó de serviço "*i*" $\in S_v$;

Y_{ki} : fluxo de demanda escoado do nó de serviço "*k*" para o nó de solução tecnológica "*i*";

Cap_{ki}^{X} : capacidade técnica da solução tecnológica *"i"* para atendimento do serviço *"k"*;

Z_{ij} : variável binária (1 ou 0) associada a cada solução tecnológica candidata, no arco $(i,j) \in A_t$, utilizada para garantir exclusividade de solução;

fcs : fator de controle da solução tecnológica. Deve ser escolhido um valor alto para este parâmetro.

Os principais componentes deste modelo matemático são:

- ***Função Objetivo* (1)**: a função objetivo se refere ao custo mínimo gerado pela aquisição ou locação e manutenção dos equipamentos, assim como custos de tarifas das operadoras. É calculada somando-se os custos de cada solução tecnológica e de tarifas para o escoamento da demanda dos nós de serviços, até o nó de empresa.

- ***Restrições de satisfação de demanda* (2)**: as restrições de satisfação de demanda garantem o balanço de fluxo para todos os nós de serviço.

- ***Restrições de capacidade técnica das soluções tecnológicas* (3)**: as restrições de capacidade ocorrem em cada arco previsto pelo planejador para escoar a demanda. Esta restrição assegura que a capacidade da solução tecnológica seja capaz de atender a demanda prevista para cada serviço.

- ***Restrições de exclusividade de atendimento* (4) e (5)**: as restrições de exclusividade de atendimento são a garantia de que o modelo vai escolher uma única operadora para atender os serviços solicitados. A restrição 4 aloca a tecnologia "Z" para atender os serviços. A restrição 5 obriga a escolha de uma única solução tecnológica "Z".

Os dados imprecisos sobre os serviços previstos aparecem na função objetivo (1) para a tarifa e nas equações (2) para a demanda. Estes dados são inter-relacionados e a sua modelagem é feita através de números *fuzzy* triangulares.

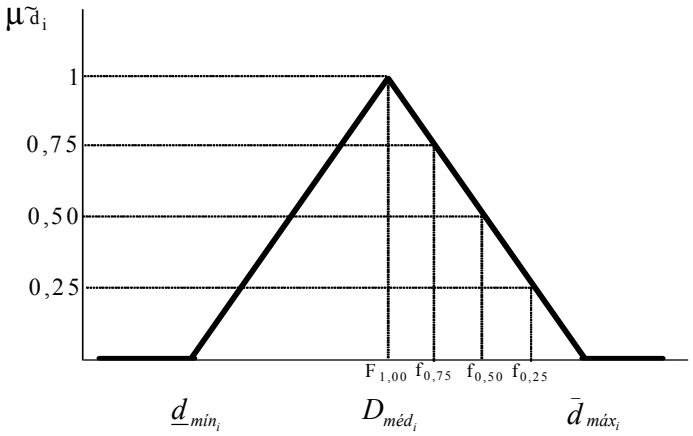

Figura 2 - Equiv. de Adamo para um número *fuzzy* triangular.

4. Tratamento dos Dados Imprecisos

A demanda é quantificada em termos de minutos a serem contratados de um ou mais serviços, e representa um dado de entrada para o modelo, conforme equação 2. Num ambiente com propostas de novos serviços esta informação nem sempre é precisa e encontra-se disponível. Uma vez que a variação neste parâmetro afeta o dimensionamento dos equipamentos exigidos e consequentemente, os custos de implantação e manutenção do sistema, esta informação representa um ponto crítico no processo de decisão. Neste sentido, o modelo apresentado anteriormente precisa ser modificado a fim de acomodar a possibilidade de avaliação dos riscos inerentes ao planejamento sob condições de imprecisão para os níveis de demanda dos serviços para as suas respectivas tarifas.

4.1 Representação dos Dados Imprecisos

Numa situação típica, o contratante é capaz de definir uma faixa de possíveis valores para a demanda deste ou aquele serviço, inclusive com discriminação de valores com maior ou menor possibilidade de ocorrência. Esta particularidade quanto aos dados de demanda sugere a adoção do conceito de número *fuzzy* (Pedrycz e Gomide, 1998) para representá-los.

De posse dos dados da possível faixa de valores de demanda dos serviços, a operadora é capaz de estimar as respectivas faixas de valores de tarifa, de acordo com sua política econômica de incentivos e fidelização.

<u>Representação da Demanda Imprecisa</u>

A cada um dos níveis de demanda dos serviços é associado um número *fuzzy* $\tilde{d}_i = \left(\underline{d}_{mín_i}, D_{méd_i}, \bar{d}_{máx_i}\right)$, definido como o conjunto dos valores possíveis para a demanda do serviço "*i*" a ser atendida no nó de acesso. É adotada uma função de pertinência triangular. A figura 2 apresenta o número *fuzzy* resultante desta definição, sendo que $D_{méd_i}$ é o valor de maior pertinência, onde:

$\tilde{d}_i$: demanda total (imprecisa) do serviço "*i*", entrando na rede;

$\underline{d}_{mín_i}$: demanda mínima prevista para o serviço "*i*";

$D_{méd_i}$: demanda média prevista para o serviço "*i*";

$\bar{d}_{máx_i}$: demanda máxima do serviço "*i*", a ser atendida pela rede.

Portanto, a definição da demanda prevista (imprecisa) em cada nó da rede (nós de

serviço e nós de acesso) é obtida efetuando-se operações com números *fuzzy* (adição, subtração e multiplicação por escalar).

Representação da Tarifa Imprecisa

De modo análogo ao que acontece com a demanda imprecisa a tarifa unitária pode ser representada por números *fuzzy* triangulares, onde:

$\tilde{t}_{ij}$: tarifa unitária (imprecisa) do serviço "*i*" na solução tecnológica *''j''*;

$\underline{t}_{mín_{ij}}$: tarifa mínima unitária a ser cobrada pelo serviço "*i*" na solução tecnológica *''j'';*

$T_{méd_{ij}}$: tarifa média unitária a ser cobrada pelo serviço "*i*" na solução tecnológica *''j''*;

$\bar{t}_{máx_{ij}}$: tarifa máxima unitária a ser cobrada pelo serviço "*i*" na solução tecnológica *''j''*.

4.2 Resolução do Modelo Fuzzy

A presença de números *fuzzy* na função objetivo (tarifas) e nas restrições (demandas) do modelo altera substancialmente o procedimento de resolução. Há a necessidade de se transformar os números *fuzzy* de maneira a permitir o seu tratamento.

Embora existam vários métodos de defuzzyficação (Pedrycz e Gomide, 1998). Neste trabalho optou-se pela substituição do número *fuzzy* por um parâmetro que permita um processo de resolução mais simples sem perder as características de imprecisão expressas pelo número *fuzzy*. A idéia é parametrizar o substituto do número *fuzzy*, visando o tratamento do problema sem prescindir da imprecisão sobre os dados usados.

A função paramétrica adotada para a determinação do equivalente do número *fuzzy* é a de Adamo (Campos e Verdegay, 1989):

$$f_a(\tilde{d}_i) = \max\left\{\tilde{d}_i \mid \mu_{\tilde{d}_i}(d_i) \geq \alpha\right\} \tag{6}$$

Onde $\alpha \in [0, 1]$.

Defuzzyficação da Demanda Imprecisa

A aplicação do equivalente de Adamo para a demanda imprecisa triangular resulta tem:

$$f_a(\tilde{d}_i) = D_{méd_i} + (\bar{d}_{máx_i} - D_{méd_i}) \cdot (1-\alpha) \tag{7}$$

Portanto, o número *fuzzy* é reduzido a um intervalo do qual se toma o limitante superior como valor de trabalho. O parâmetro α indica o grau de confiança nos valores a adotar. A Figura 2 mostra o funcionamento do equivalente de Adamo para um número *fuzzy* triangular representando a demanda imprecisa $\tilde{d}_i$.

A variação do parâmetro α permite fazer uma análise técnico-econômica para diferentes possibilidades de demanda prevista para cada serviço, em cada nó de acesso.

Defuzzyficação da Tarifa Imprecisa

As operadoras de telecomunicações, com o objetivo de aumentar o consumo e até mesmo assegurar uma certa fidelização de seus clientes, promovem políticas tarifárias de forma a incentivar contratos com demandas mais elevadas. Geralmente, a tarifa unitária tende a ser reduzida à medida que se aumenta a demanda contratada.

De forma a assegurar esta política de atuação das operadoras de telecomunicações no mercado, o equivalente de Adamo foi adaptado para representar o comportamento da tarifa unitária, conforme a seguir:

$$f_\alpha(\tilde{t}_{ij}) = T_{méd_{ij}} + \left(\bar{t}_{máx_{ij}} - T_{méd_{ij}}\right) \cdot \alpha \tag{8}$$

Esta adaptação foi concebida partindo da idéia de que: quanto menor for a demanda a ser contratada (α=1), maior é o valor da tarifa unitária a ser cobrado pelo provedor.

5. Aplicação

Para a simulação do modelo foram utilizados os seguintes recursos computacionais: linguagem de programação matemática AMPL® (Fourer et al., 2002), para a elaboração do modelo matemático, e o pacote de otimização CPLEX® (CPLEX, 1999), ambos manipulados em microcomputadores no ambiente Windows XP®.

5.1 Dados Gerais

Com o objetivo de avaliar a modelagem aqui proposta foi feita uma pesquisa junto a operadoras de telefonia na região metropolitana de Goiânia. Foram obtidos dados referentes a contratos de prestação de serviços corporativos para um cliente com perfil de consumo considerado de médio a grande porte. Para garantir o sigilo das informações, os dados referentes a custos, a demandas e a tarifas sofreram algumas adaptações. As decisões oferecidas pelo modelo matemático são altamente influenciadas por estes dados de entrada. Portanto, quanto mais confiáveis as informações disponíveis, mais seguras serão as estratégias de mercado indicadas pelo estudo de caso.

Três serviços foram considerados na avaliação: Voz convencional (SV_{01}), transmissão de dados (SV_{02}) e VoIP (SV_{03}).

Três contratos de prestação de serviços foram confrontados: no primeiro, a OPERADORA A fornece todos os equipamentos utilizados, bem como os *links* de acesso E1, tanto para dados quanto para Voz; no segundo, a OPERADORA B fornece os *links* de acesso E1, porém, os equipamentos devem ser adquiridos separadamente pela empresa contratante; no terceiro, a OPERADORA C disponibiliza a mesma plataforma tecnológica da OPERADORA A, mas com tarifas e custos diferenciados.

Nas três operadoras, durante o contrato de fidelização, as tarifas de manutenção e mensalidade são reajustadas anualmente, conforme a variação do IST (Índice de Serviços de Telecomunicações), que é um índice composto pelos principais itens de despesa dos serviços de telecomunicações (ANATEL, 2009). Já as tarifas unitárias dos serviços não sofrem reajustes durante o período de fidelização. A análise não considera, para efeitos de cálculo, os custos de atualização tecnológica e depreciação dos equipamentos.

5.2 Cenário Estudado

Embora o modelo possa ser configurado para trabalhar com diversas alternativas de contratação de serviços, neste estudo foram avaliadas as influências do prazo de fidelização e das imprecisões nos valores de demanda e de tarifa. A Tabela 1 apresenta a demanda imprecisa (em minutos) dos serviços a serem contratados.

Tabela 1 - Valores de demanda estimada em minutos.

Serviço	Demanda Mínima	Demanda Média	Demanda Máxima
SV01	22400	28000	37800
SV02	18400	23000	27600
SV03	14400	18000	27000

Na Tabela 2 estão indicados os custos de instalação e de manutenção em cada operadora considerada.

Tabela 2 – Custos de manutenção e instalação convertidos em VP.

Custo (R$)	Operadora A	Operadora B	Operadora C
Instalação (x1000)	2,25	220,00	2,25
Manutenção (x1000)	37,20	18,6	31,50

Os custos de manutenção indicados já estão todos convertidos para o valor presente, de acordo com o IST (ANATEL, 2009). O VP encontrado após o cálculo não representa o custo imediato com a manutenção. Esse valor é usado de forma a permitir o seu confronto com os custos de instalação e de tarifas, dentro do prazo de fidelização, entre as três operadoras.

A Tabela 3 apresenta os valores estimados para a tarifa dos serviços nas operadoras. Observa-se que o serviço SV_{02} (transmissão de dados) não possui tarifa por tempo de utilização (por minuto). A sua oferta baseia-se apenas na tarifa mensal contemplada no custo de manutenção das operadoras (Tabela 2).

Tabela 3 – Tarifas Imprecisas – faixas de valores de tarifas estimadas em R$ para cada serviço em cada operadora.

SV01	Tarifa Mínima	Tarifa Média	Tarifa Máxima
Operadora A	0,34	0,43	0,52
Operadora B	0,27	0,36	0,46
Operadora C	0,35	0,44	0,53
SV03	**Tarifa Mínima**	**Tarifa Média**	**Tarifa Máxima**
Operadora A	0,21	0,30	0,39
Operadora B	0,13	0,23	0,33
Operadora C	0,22	0,31	0,40

5.3 Resultados

O objetivo é averiguar a influência da demanda e tarifa dos serviços oferecidos pelas empresas operadoras, ambas com imprecisão.

O estudo é feito para três períodos de fidelização: 24, 36 e 48 meses. Os valores de tarifas, para os três períodos, são os mesmos da Tabela 3.

A Tabela 4 lista para cada período de fidelização em análise, a escolha adequada da operadora de acordo com a confiança nos dados de demanda e tarifa dos serviços.

Tabela 4 – Operadoras escolhidas pelo modelo de otimização em função do grau de confiança nos dados.

Grau de Confiança (α)	Prazo de Fidelização		
	24 meses	36 meses	48 meses
0,0	A	B	B
0,1	A	A	B
0,2	A	A	B
0,3	A	A	B
0,4	A	A	B
0,5	A	A	B
0,6	A	A	B
0,7	A	A	B
0,8	A	A	B
0,9	A	A	A
1,0	C	C	C

A OPERADORA C é a escolhida para os três casos quando o grau de confiança nos dados é máximo (α=1).

Para o período de 24 meses a OPERADORA A é a escolhida para os valores de α diferentes de 1.

Para 36 meses, na situação de maior imprecisão na demanda a ser contratada, a OPERADORA B é a mais viável economicamente. Para os outros graus de confiança a OPERADORA A assume a posição de mais atraente.

Para a fidelização de 48 meses, a OPERADORA B é mais competitiva na maioria dos cenários de demanda. Em contrapartida, a escolha fica entre a OPERADORA A e a OPERADORA C para aquelas situações de maior confiança nos dados.

A Figura 3 mostra o custo total do contrato (em valor presente), a ser cobrado pela empresa escolhida, em função da variação do grau de confiança α. Valores estes simulados e divididos para os três períodos de fidelização: 24, 36 e 48 meses.

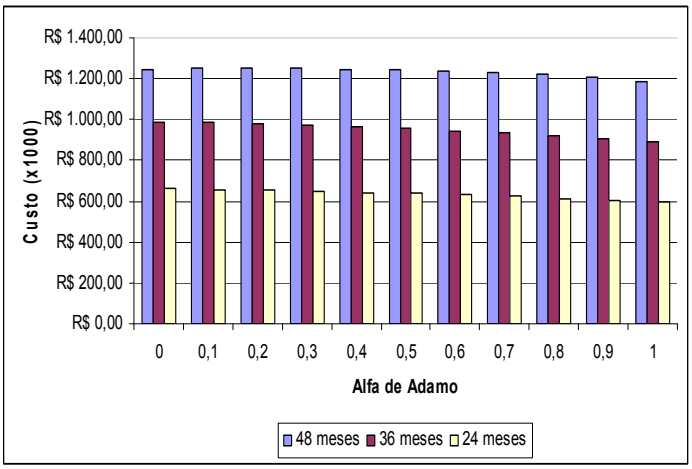

Figura 3 – Custo Total do Contrato em
Valor Presente (*R$*) x Grau de Confiança (*Alfa de Adamo*).

Os resultados mostram que, para aqueles contratos de fidelização mais longos e também para aqueles com maiores valores de demanda prevista, a competição entre as tarifas unitárias dos serviços é mais relevante para o processo de decisão do que aqueles gastos com implantação e manutenção. A Operadora B é a escolhida para estes cenários, mesmo sendo ela a que apresenta os custos mais elevados de infra-estrutura.

6. Conclusão

A rapidez com que novas tecnologias surgem e se apresentam atrativas, principalmente do ponto de vista financeiro, ao mercado de serviços corporativos de telecomunicações, faz crescer o desafio e a responsabilidade dos gestores tanto no aspecto administrativo, quanto no técnico. Disponibilizar para os clientes uma estrutura de rede eficiente, econômica e moderna é um paradigma que se apresenta cada vez mais desafiador.

A ferramenta computacional proposta neste artigo apresenta-se como um facilitador para o planejamento estratégico. A aplicação do modelo depende de uma pesquisa de mercado minuciosa e de um estudo das tendências futuras. Tomadas essas precauções, tem-se nessa ferramenta um poderoso aliado na análise dos contratos de prestação de serviços corporativos de telecomunicações.

Para os cenários mercadológicos avaliados neste trabalho pode-se concluir que:

- O perfil da empresa contratante influência enormemente no processo de decisão;

- Contratar links de serviços com a operadora e adquirir a infra-estrutura necessária se torna inviável para os contratos de curto e médio prazo de fidelização. Embora esta solução (Operadora B) seja a mais adequada para o cenário de 48 meses, a sua escolha deve ser feita com ressalvas: um longo período de fidelização pode trazer transtornos que não são contemplados na modelagem, tais como custos de ampliações futuras, atualizações tecnológicas e também a depreciação dos equipamentos.

Mantendo a mesma linha de pesquisa e com o objetivo de deixar a modelagem ainda mais flexível, algumas funcionalidades adicionais já são objetos de estudo e estão sendo incorporadas à ferramenta computacional. Podem ser destacadas:

- a verificação do processo decisório diante do impacto que o prazo de fidelização pode acarretar na receita unitária;
- a avaliação segundo uma ótica multi-paramétrica, com diferentes níveis de confiança para a demanda e tarifa de cada serviço, em regiões distintas de oferta;
- embora a proposta aqui seja um estudo a nível estratégico, com cenários em que as tomadas de decisão permitem uma certa flexibilidade quanto os tempos de resposta, é interessante avaliar o esforço computacional exigido pelo modelo matemático, através da geração e da avaliação de novas instâncias.

Referências Bibliográficas

ANATEL. (2009). *Índice de Serviços de Telecomunicações (IST)*. Disponível em http://www.anatel.gov.br.

Bazaraa, M.S., Jarvis, J.J. e Sherali, H.D. (1990). *Linear Programming and Network Flows*. 2a ed., Willey, New York.

Bienstock, D., Raskina, O., Saniee, I. e Wang, Q. (2006). Combined Network Design and Multiperiod Pricing: Modeling, Solution Techniques, and Computation. *Operations Research*, vol. 24, n. 2, pp. 261-276.

Campos, L. and J. L. Verdegay (1989). Linear Programming Problems and Ranking of *Fuzzy* Numbers. *Fuzzy Sets and Systems*: 32, pp. 1-11.

Carlson, C.M.F and G. Authié (2001). Optimized Design of LMDS Cells: Site Location, Equipment Sizing and Users Homing. Procs. of the Third IEEE International Conference on Mobile and Wireless Communication Networks – MWCN'2001, Recife, Brasil, pp. 111-118.

CPLEX (1999). *ILOG CPLEX - Manual do Usuário*, Versão 6.5.

DeSousa, M.A., Carlson, C.M.F., Machado, J.T. e R.V. Ribeiro (2006). Uma Abordagem *Fuzzy* para a Avaliação Técnico-Econômica de Redes de Acesso. *Revista Controle e Automação*, vol. 17, No. 2, 226-244.

DeSousa, M.A. (2004). Planejamento Estratégico de Sistemas de Telecomunicações: Avaliação Técnico-econômica Orientada à Receita. *Tese de Doutorado*. FEEC-UNICAMP.

Fourer, R., Gay, D.M., e Kernighan, B. W. (2002). *AMPL - A Modeling Language for Mathematical Programming*. 2a ed.

Jeszensky, Paul J.E. (2004). *Sistemas Telefônicos***.** Ed. Manole, Barueri-SP.

Pedrycz, W. e Gomide, F. (1998). *An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design*. MIT Press, Cambridge, MA.

Pilão, N.E. e Hummel, P.R.V. (2004). *Matemática Financeira e Engenharia Econômica***.** Ed. Thomson, São Paulo-SP.

Rouskas, A. N. Kikilis, A.A. e Ratsiatos, S.S. (2008). A game theoretical formulation of integrated admission control and pricing in wireless networks. *European Journal of Operational Research*. vol. 191, n. 3, pp.1175-1188.

Sahinidis, N.V. (2004). Optimization under Uncertainty: State-of-the-art and Opportunities. *Computer &* Chemical *Engineering* 28 (6-7), pp. 971-983.