



IBP61804

## ANÁLISE DE CONFLITOS DE INTERESSE NA DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL EM ÁREAS URBANAS: UMA APLICAÇÃO DA TEORIA DOS JOGOS

Bruno de Athayde Prata<sup>1</sup>, João Bosco Furtado Arruda<sup>2</sup>

**Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP**

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004*, realizada no período de 4 a 7 de outubro de 2004, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pela Comissão Técnica do Evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004*.

---

### Resumo

O gás natural é um combustível nobre e atualmente em evidência no Brasil que, para se firmar de forma efetiva como insumo energético chave no território nacional, necessita de uma distribuição primária e secundária eficaz e planejada, levando em conta seus diversos impactos. Também, para que ele se firme como elemento fundamental na matriz energética nacional, a sua distribuição deve ser bem planejada, principalmente no caso do setor automotivo. É importante considerar os impactos que a inserção do Gás Natural irá acarretar no desenvolvimento urbano e, no Brasil, não há um controle eficaz deste desenvolvimento. Elementos de infra-estrutura urbana, como os postos de combustível, são implantados, muitas vezes, sem a devida fiscalização normativa, e sem levar em conta os impactos que tais instalações acarretam no tráfego e na vida das pessoas em seu entorno. Neste sentido, o presente trabalho demonstra que se pode utilizar modelos baseados na técnica de apoio à tomada de decisão conhecida como Teoria dos Jogos para minimizar conflitos de interesses entre os atores (distribuidor, varejista, usuário e não-usuário) envolvidos no processo de distribuição e determinar variáveis-chaves como o número de postos em uma área de estudo. Este trabalho apresenta um modelo aplicado a um bairro da cidade de Fortaleza, na área de estudo do projeto GASLOG – *Estudo Logístico da Distribuição do Gás Natural nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil*, ora em desenvolvimento no âmbito da RECOGAS com recursos da FINEP e PETROBRÁS e apoio da RedeGasEnergia.

### Abstract

The use of Natural Gas is nowadays increasing in Brazilian scene and this fact shows the necessity of effective planning tasks in that sector. In the case of Natural Gas Vehicular (NGV) distribution one can face problems of actors's (distributor, retailers, customers and non-users) point of view conflicts and fuel stations expand in most Brazilian urban areas in an uncontrolled way, despising counties regulation on land use. This paper reports a study using a model based in Game Theory concepts to determine some key-variables as the number of fuel stations which must deliver NGV in a given study area. Although some information could not be available the results of simulation shows the usefulness of using such an approach to give solutions to distribution questions in NGV sector. The model was applied to the case of a district in Fortaleza city which is the study area of a project entitled *Projeto GASLOG* presently on process under the sponsoring of Brazilian Government, PETROBRAS and Brazilian GasEnergy Research Network.

## 1. INTRODUÇÃO

As diretrizes do Governo Federal para o setor de energia apontam para uma participação crescente do gás natural na matriz de oferta no âmbito do território brasileiro, passando de 7,5%, hoje, a 12% (134 milhões de m<sup>3</sup> por dia) em 2010. O aumento da escala de oferta do gás natural no Brasil torna-se premente para a superação da recente crise de oferta de energia no país e para minorar os efeitos da crescente contribuição de fontes energéticas de origem fóssil, hoje utilizadas no país, que causam a deterioração do meio ambiente urbano, em nível micro, e da ecossfera, em nível global.

<sup>1</sup> Graduando, Engenharia Civil – Núcleo de Pesquisa em Logística, Transporte e Desenvolvimento, Universidade Federal do Ceará.

<sup>2</sup> PhD, Engenharia de Transportes – Núcleo de Pesquisa em Logística, Transporte e Desenvolvimento, Universidade Federal do Ceará.

Neste contexto, a alocação de postos de distribuição de gás natural para consumo nos setores automotivo e residencial exige técnicas de otimização da tomada de decisão uma vez que se deve considerar a demanda da área de influência e vários fatores que levam a população a consumir aquele combustível. Note-se, também, que há a necessidade de se priorizar a clientela em face de restrições na oferta do gás natural.

Um estudo de decisão para a alocação de postos de distribuição de gás natural em Fortaleza, para consumo automotivo, tem de levar em conta variáveis como custos de transporte, demanda potencial, risco ambiental e outras que devem ser balanceadas na definição de locais ótimos de distribuição. Modelos baseados na Teoria dos Jogos podem ser utilizados para a solução de tal problema, gerando a melhor alocação dos postos.

## 2. ANÁLISE DO CONFLITO DE INTERESSES NA DISTRIBUIÇÃO DO GNV

### 2.1. Descrição dos Atores

O sistema de distribuição de gás natural envolve interesses de quatro tomadores de decisão distintos: o distribuidor, o varejista, o usuário e o não-usuário. Analisando as diversas modalidades de jogos citadas na literatura, temos que o processo de distribuição secundária de gás natural para o setor automotivo se enquadra como um jogo cooperativo entre estes jogadores. Em um jogo cooperativo os atores interagem de maneira simbiótica, formando coalizões para atingir suas metas de maneira ótima. A modelagem de um sistema como o em foco é feita a partir de um jogo onde interagem distribuidor, varejista, usuário e não-usuário.

A variável de decisão escolhida para ser estudada para os quatro jogadores descritos acima foi a utilidade. *Utilidade* é uma medida de valor que expressa, para a pessoa que toma decisões, o valor relativo de vários resultados, incluindo suas conseqüências econômicas. O indivíduo irá preferir uma ação à outra somente se a utilidade esperada para a primeira for maior do que para a última. Assim, o desejo individual pelos resultados preferidos torna-se um problema de maximização da utilidade (pagamento, recompensa) esperada. Com relação à função utilidade de cada jogador, não podemos afirmar com certeza qual o posicionamento deste com relação ao risco. Um outro estudo de tomada de decisão poderia ser realizado para obter as funções de utilidade dos diversos atores envolvidos no sistema supracitado. Como não conhecemos o posicionamento exato dos tomadores de decisão no jogo em questão, é razoável considerá-los todos como neutros ao risco, ou seja, as funções de utilidade destes serão lineares. Ao criarmos uma escala de utilidade, é usual utilizarmos a convenção de que a utilidade varia de zero até um, onde a pior conseqüência para o ator tem utilidade nula e a melhor utilidade igual a um.

Para o ator *distribuidor*, a utilidade será nula quando: *i*) a quantidade vendida de GNV é nula; *ii*) a tarifa de fornecimento do GNV é mínima, ou seja, a receita total é igual ao custo total; *iii*) todos os postos de abastecimento de combustível recebem a ramificação da dutovia, mesmo aqueles que não possuam um demanda mínima que justifique essa ramificação; e *iv*) o projeto de fornecimento de GNV não traz os benefícios esperados e não há o reembolso do investimento empregado. A utilidade pertinente ao *distribuidor* será igual a um quando: *i*) a quantidade de GNV vendida é máxima, ou seja, a demanda potencial da região está sendo plenamente atingida; *ii*) a tarifa de fornecimento é máxima, ou seja, esta se aproxima ao máximo da tarifa dos combustíveis concorrentes (gasolina e álcool, por exemplo); *iii*) a malha dutoviária irá se estender apenas aos postos de abastecimento de combustível que possuem uma demanda mínima que justifique tal ônus; e *iv*) o tempo de retorno é mínimo.

Para o ator *varejista*, a utilidade será nula quando: *i*) a quantidade vendida de GNV é nula; *ii*) a tarifa de distribuição do GNV é mínima, ou seja, tem o mesmo valor da tarifa de fornecimento; *iii*) o custo de instalação dos equipamentos necessários para a oferta do GNV é muito alto; e *iv*) o projeto de oferta de GNV não traz os benefícios esperados, não havendo o reembolso do investimento empregado. A utilidade pertinente ao *varejista* será igual a um quando: *i*) a quantidade de GNV vendida é máxima, ou seja, a demanda potencial da região está sendo plenamente atingida; *ii*) a tarifa de distribuição é máxima, ou seja, esta se aproxima ao máximo da tarifa dos combustíveis concorrentes; *iii*) o custo de instalação dos equipamentos necessários para a oferta do GNV é mínimo; e *iv*) o tempo de reembolso é mínimo.

A utilidade para o *usuário* é nula quando o GNV é tão ou mais oneroso do que a gasolina ou o álcool, fato que ocorre por três motivos: *i*) os pontos de distribuição do GNV estão localizados em pontos de acessibilidade incompatível com o sistema de atividades do usuário; *ii*) a tarifa de distribuição do GNV tende aos valores das tarifas de distribuição dos combustíveis concorrentes; e *iii*) o custo de conversão é muito alto, fato que aumenta o tempo necessário para que a economia obtida pelo uso GNV justifique a conversão. O GNV oferece ao *usuário* vantagem máxima com relação aos combustíveis concorrentes caso: *i*) todos os postos de abastecimento de combustível ofertam o GNV; *ii*) a tarifa de distribuição do GNV é menor do que as tarifas de distribuição da gasolina e do álcool, se distanciando ao máximo destas; e *iii*) o custo de conversão é mínimo, fato que irá acelerar o tempo de reembolso.

No que tange ao *não-usuário*, a utilidade cabível a este ator será nula se a distância de sua residência a um posto de distribuição secundária de GNV é nula, sendo atribuída a este utilidade máxima quando a distância da residência deste ator a um posto de distribuição secundária de GNV deixa este indivíduo isento dos riscos e perturbações ambientais oriundos do processo de distribuição deste combustível.

## 2.2 Aplicação do Valor de Shapley

Usando conceitos da Teoria da Utilidade é possível padronizar os retornos que cabem a cada jogador, não havendo uma distorção do resultado devido à relação entre as quantias (unidades dimensionais) esperadas pelos diversos atores. Partindo da hipótese que todos os tomadores de decisão almejam compartilhar uma utilidade comum, pode-se utilizar o *Valor de Shapley* oriundo da Teoria dos Jogos para mensurar o peso de cada ator no conflito de interesses e repartir a utilidade do sistema de forma proporcional à importância do ator. Como a variável de decisão utilizada no modelo em questão é a utilidade, temos que calcular qual a utilidade associada a cada ator. Como este conflito de interesses se trata de um jogo cooperativo entre quatro participantes, vamos utilizar o valor de Shapley para ratear a utilidade do sistema entre estes quatro atores.

Baseado no conceito da Teoria da Utilidade de que a melhor consequência para um tomador de decisão que é levado a decidir sob incerteza tem utilidade um, e que a pior consequência tem utilidade nula, vamos considerar a utilidade total do sistema igual a um. Um ator irá deter toda esta utilidade se e somente se seus interesses estiverem sendo satisfeitos de maneira plena, no entanto sabemos que tal proposição é absurda pois levaria o processo de distribuição do GNV ao colapso. Denotando o distribuidor, o varejista, o usuário e o não-usuário como os jogadores 1, 2, 3 e 4, respectivamente, pode-se calcular o vetor de retornos  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  dado pela equação:

$$x_i = \sum p_n(S) [v(S \cup \{i\}) - v(S)] \quad (1)$$

em que

$$p_n(S) = \frac{|S|!(n-|S|-1)!}{n!} \quad (2)$$

Calculando as componentes do vetor  $\mathbf{x}$  para o conflito em questão, temos que os quatro atores possuem o mesmo peso no sistema e que a utilidade deve ser igualmente distribuída entre estes. Este resultado é coerente, pois os quatro jogadores são vitais para o sistema. O distribuidor e o varejista são imprescindíveis para que o GNV chegue ao usuário e este é a razão de existir tal processo. No entanto, o restante da sociedade não pode ser deixado à margem desta questão, acatando quaisquer decisões provenientes dos atores supracitados. O não-usuário é ator chave no sistema de distribuição de gás natural veicular, pois defende os interesses da sustentabilidade urbana.

## 2.3 Concepção do Modelo

Como se está usando a utilidade esperada como variável de decisão, obtendo a função utilidade de um jogador e conhecendo a fração da utilidade do sistema que a ele cabe, pode-se obter restrições para a quantidade de postos de abastecimento de combustível que irão ter acesso à malha dutoviária e, por consequência, ofertar o GNV, bem como obter a quantidade mínima e máxima de postos que ofertem o gás natural em uma determinada região.

Conhecendo a utilidade para o ator distribuidor, conhece-se seu lucro e, por consequência, sabe-se a relação entre receita e custo que a ele cabe. O lucro do distribuidor equivale ao produto da tarifa de fornecimento pela quantidade de gás fornecida subtraída dos custos de fornecimento, devendo-se ressaltar que o custo de fornecimento varia conforme seja alocada a malha dutoviária. O lucro do varejista é análogo ao do distribuidor; no entanto, seu custo foi considerado fixo, pois este último assume o ônus com a infra-estrutura pertinente à distribuição do produto (máquinas e equipamentos). A satisfação para o usuário será a vantagem que ele obterá do GNV em relação aos demais combustíveis disponíveis e a satisfação para o não-usuário será uma oferta de gás natural que não implique em transtornos para este ator, refletidos pela distância de sua residência a um posto de abastecimento. As variáveis serão os custos do usuário, os custos do distribuidor e o raio de influência de um posto, sendo que estas variáveis irão restringir quantos e quais são os postos ótimos dentro do contexto geral de oferta do gás natural considerado.

### 2.3.1. Distribuidor

Tem-se que o lucro para o distribuidor é dado pela seguinte expressão:

$$B_F = Q \cdot t_F - \alpha \cdot C_{DUT} \cdot d \quad (3)$$

em que

$B_F$ : lucro total para o distribuidor (R\$);

$Q$ : volume de gás comercializado ( $m^3$ );

$t_F$ : tarifa de fornecimento (R\$/ $m^3$ );

$C_{OP}$ : custo operacional da malha dutoviária (R\$/km);

$\alpha$ : fator que indica qual percentual do custo de implantação equivale ao custo operacional;

$C_{DUT}$ : custo do quilômetro de dutovia (R\$/km);

$d$ : extensão da dutovia (km).

Sabendo a utilidade que cabe ao jogador distribuidor ( $U_F$ ), é possível calcular o lucro ótimo deste devido às restrições do sistema. Pode-se fazer a consideração de que o volume de gás, a tarifa de fornecimento e o custo do

quilômetro de dutovia são constantes; então, a única variável será a extensão do gasoduto. Sendo conhecido o valor de  $U_F$ , tem-se o valor da ordenada da função utilidade da qual se quer obter o valor da abscissa. Conhecendo  $B_F$ , pode-se calcular o valor da extensão ótima da dutovia.

Como  $B_F = Q \cdot t_F - C_{OP}$ , tem-se que

$$d = - \left( \frac{\pi_F - Q t_F}{C_{DUT} \alpha} \right) \quad (4)$$

Sabendo-se a distância média  $d_M$  dos postos de abastecimento de combustível ao(s) entroncamento(s) da malha dutoviária da região analisada, o número ótimo de postos de acordo com os interesses do fornecedor pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$NP_U = \frac{d}{d_M} \quad (5)$$

### 2.3.2. Varejista

Tem-se que o lucro para o varejista é dado pela seguinte expressão:

$$B_D = Q \cdot (t_D - t_F) - C_{OP} \quad (6)$$

sendo

$$C_{OP} = NP \cdot \beta \cdot C_{MAQ} \quad (7)$$

em que

$B_D$ : lucro total para o varejista (R\$);

$Q$ : volume de gás comercializado ( $m^3$ );

$t_D$ : tarifa de distribuição (R\$/ $m^3$ );

$t_F$ : tarifa de fornecimento (R\$/ $m^3$ );

$C_{MAQ}$ : custo com infra-estrutura indispensável para oferta do GNV, como máquinas e equipamentos (R\$);

$C_{OP}$ : custo operacional do maquinário (R\$);

$\beta$ : fator que indica qual percentual do custo com o maquinário equivale ao custo operacional;

$NP$ : número de postos

Considerando o volume de gás, a tarifa de fornecimento, a tarifa de distribuição e o custo com maquinário como constantes, a única variável será a custo operacional, que irá variar com o número de postos que irão ofertar o gás natural veicular.

$$NP_D = - \left[ \frac{\pi_D - Q(t_D - t_F)}{\beta \cdot C_{MAQ}} \right] \quad (8)$$

### 2.3.3. Usuário

O ator usuário não visa o lucro, mas sim maximizar a sua satisfação. Ao realizar a conversão do seu veículo para utilizar o gás natural como combustível, o usuário espera que a vantagem econômica que o GNV oferece justifique, em tempo mínimo, o custo de conversão, sendo que esta vantagem se trata do menor custo por quilômetro rodado do gás natural em comparação ao óleo diesel, álcool e gasolina. O custo para o usuário é dado pela seguinte expressão:

$$C_T = k \cdot t_D \cdot \delta \quad (9)$$

em que

$C_T$ : custo de transporte (R\$);

$k$ : consumo de combustível por quilômetro rodado ( $m^3/km$  ou  $l/km$ );

$t_D$ : tarifa de distribuição (R\$/ $m^3$ );

$\delta$ : distância média percorrida (km).

Para o ator usuário, a utilidade diminui à medida que o custo de transporte aumenta, ou seja, a função utilidade deste jogador possui um comportamento diferente das funções apresentadas para o varejista e o distribuidor. Conhecendo o valor da utilidade do usuário e o comportamento da função de utilidade correspondente, obtém-se facilmente o valor do custo  $C'$ , sendo que este se trata do custo ótimo para o usuário dentro das restrições do sistema. Logo, a distância média percorrida pelo usuário para adquirir o GNV será obtida por:

$$\delta' = \frac{C'}{k \cdot t_D} \quad (10)$$

Sendo  $\delta_M$  a distância média de um posto de abastecimento de combustível ao centróide da região de estudo, o número ótimo de postos, de acordo com os interesses do usuário, pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$NP_U = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\delta'} \quad (11)$$

em que

$NP_U$  : número de postos de abastecimento de combustível que podem ofertar o GNV de acordo com os interesses do usuário.

$\sum_{i=1}^n d_i$  : soma das distâncias retangulares

### 2.3.4. Não-Usuário

Como já mencionado, o não-usuário não se posiciona contra o êxito da distribuição secundária do gás natural veicular, só não quer que este processo influa negativamente na sustentabilidade urbana e crie impedâncias em suas atividades diárias. Considere-se que a satisfação do não-usuário será diretamente proporcional à distância que os postos de abastecimento de GNV apresentam da sua residência e chame-se tal distância de *raio de satisfação*.

De modo análogo ao procedimento de cálculo do retorno esperado para os atores distribuidor, varejista e usuário, o retorno esperado para o não-usuário, ou seja, o raio de satisfação ótimo, dentro das restrições observadas, será obtido através da função de utilidade deste ator.

Obtendo o valor do raio ótimo, podemos calcular a área de satisfação para o não-usuário pela expressão:

$$A = \Pi \cdot (r_{\text{ÓTIMO}})^2 \quad (12)$$

em que

$A$  : área de satisfação para o não usuário;

$\Pi$  : número irracional igual a 3,1416...;

$r_{\text{ÓTIMO}}$  : raio de satisfação ótimo.

Conhecendo a área da região analisada, pode-se calcular o número máximo de postos que esta área pode possuir de modo que os interesses do não-usuário sejam respeitados, de acordo com a expressão abaixo:

$$NP_{NU} = \frac{A_R}{A} \quad (13)$$

em que

$NP_{NU}$  : número máximo de postos de abastecimento de combustível que podem ofertar o GNV de acordo com os interesses do não-usuário.

$A$  : área de satisfação para o não usuário;

$A_R$  : área da região analisada.

## 3. APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo foi aplicado ao bairro de Fátima, situado na cidade de Fortaleza. Este se trata de um bairro com grande densidade populacional, localizado próximo ao centro da cidade, e que ainda não possui nenhum posto de distribuição secundária de gás natural veicular dentro dos seus limites. Os dados que alimentaram o modelo são referentes ao mês de julho de 2003.

### 3.1. Fornecedor

De acordo com o modelo, a variável que irá definir a quantidade ótima de postos de abastecimento de combustível que irão ofertar o GNV é a extensão de dutovia. Sabe-se que o trajeto de uma dutovia que corta uma grande cidade jamais poderá ser em linha reta, pois as tubulações devem seguir o contorno da malha viária urbana já existente, percorrendo o que a literatura chama de *distância retangular*. Para se obter a distância *retangular*, deve-se corrigir a distância *euclideana* com um fator de 30% de acréscimo. Outro parâmetro importante que se pode obter é a distância média. Este parâmetro é obtido dividindo-se a distância retangular total pelo número total de postos existente. Como a distância de um posto ao gasoduto varia bastante, para efeito de simplificação nos cálculos deve-se trabalhar com o valor da distância média.

O passo seguinte é determinar o volume de gás natural vendido pelo distribuidor. Devido à não disponibilidade de estudos de demanda de gás natural para os diversos consumidores potenciais de gás, é necessário obter uma estimativa da demanda potencial deste combustível para o setor veicular. Fazendo a hipótese conservadora de que haja um crescimento de 1% na procura pelo GNV, assumindo-se o valor da demanda de 2002 fornecida pela

Cegás (2003) de 197.575.000 m<sup>3</sup>/ano, com uma média de 541.300 m<sup>3</sup>/dia e sabendo que o setor automotivo tem uma participação de 29,61% no consumo do gás natural no Estado do Ceará, calcula-se que, no ano de 2003, o volume médio diário de GNV comercializado será de 161.900 m<sup>3</sup>/dia. Considere-se que toda esta quantidade de combustível seja fornecida para a Região Metropolitana de Fortaleza. Apenas para efeitos de cálculo, supõe-se que o bairro de Fátima tenha um peso de 2% no volume de GNV consumido por dia na RMF, o que implica em uma demanda diária de cerca de 3240 m<sup>3</sup>.

A única variável pendente é o custo por quilômetro de dutovia. Esta incógnita é de difícil obtenção, pois o custo de implantação da malha dutoviária varia bastante no meio urbano, dependendo do local considerado. No caso do gasoduto Guamaré-Pecém, o valor do custo médio do quilômetro da dutovia era de R\$ 160.000 por km. Como, no caso urbano, se trata de tubulações e bombas de menores portes, a malha dutoviária na RMF deve ser bem menos onerosa do que o gasoduto citado acima. Para efeito de cálculo, considera-se que o custo do quilômetro de dutovia seja 25% do valor médio calculado para o gasoduto Guamaré-Pecém, ou seja, o custo seria de R\$ 40.000 por km.

Para obtenção do lucro otimizado do distribuidor, tendo em vista as restrições do sistema, é necessário analisar o processo de fornecimento a partir do momento que este gere lucro, ou seja, a distribuição do gás natural só tem utilidade para o ator em questão após o período de *payback*. Após obter-se o número ótimo de postos de combustível que ofertem o GNV na região analisada, pode-se calcular o tempo de reembolso para o ator distribuidor. O custo operacional mensal para o distribuidor será estimado em 3% do custo total da dutovia. Tal ônus decorre da manutenção e monitoramento da rede dutoviária.

Calculando o valor do retorno para o distribuidor utilizando a função utilidade, obtém-se o lucro ótimo equivalente a R\$ 51.339,75. Substituindo este valor na equação 4, encontra-se uma extensão de dutovia igual a 10,07 km. Finalmente, utilizando a expressão 5, obtém-se um valor de nove postos.

O último parâmetro que se pode obter, sob a ótica do distribuidor, é o tempo de reembolso. Conhecendo a receita diária e o custo de implantação da dutovia, pode-se determinar qual o número de períodos necessários para a recuperação dos investimentos. Após uma simples manipulação algébrica, obtém-se um tempo de *payback* igual a 191 dias ou 6,4 meses.

### 3.2. Varejista

Considere-se que o custo médio com a infra-estrutura necessária para que um posto de abastecimento de combustível ofereça o GNV é de R\$ 100.000. Para  $U = 0$  e para  $U=1$ , admitindo que todos os postos da região irão ofertar o combustível, o lucro mensal para o varejista vale respectivamente R\$ 14.336,25 e R\$ 45.311,25. Utilizando a função de utilidade, obtém-se o lucro ótimo de R\$ 22.080,00. Substituindo este valor na equação 8, chega-se a um número de nove postos de abastecimento de combustível que devem ofertar o gás natural veicular na região analisada. Calculando o tempo de reembolso do investimento feito pelo varejista, de modo análogo ao cálculo efetuado para o distribuidor, obtém-se um período de 4,7 meses ou 141 dias.

### 3.3. Usuário

Calculando a distância média percorrida pelo o usuário do gás natural, obtém-se  $\delta_{\text{GNV}} = 2$  km. O significado deste valor é que o GNV não teria vantagem sobre a gasolina a uma distância média de 2 km do posto de combustível ao centróide da região analisada. É óbvio que o interessante para o usuário não é simplesmente que, no bairro onde ele reside, hajam muitos postos que ofertem o combustível. Para este ator, o importante é que hajam postos próximos do seu trajeto e a hipótese que embasa o modelo atende tal necessidade. Tomando a distância média pode-se calcular o custo de transporte para o usuário no cenário em que a utilidade para este ator é nula. Utilizando a expressão 9, obtemos um valor de R\$ 0,19.

Para  $U = 1$ , temos que  $\delta_{\text{GNV}} = \delta_{\text{GAS}}$ . Logo, utilizando novamente a Equação 10 iremos calcular o custo de transporte para este ator quando a utilidade a ele pertinente é máxima. O valor obtido foi de R\$ 0,092, resultado que nos permite traçar a função de utilidade para este tomador de decisão.

Calculando o custo de transporte otimizado para o usuário, chega-se a um valor de R\$ 0,166. Substituindo este valor na Equação 11, obtemos a distância média dos postos de combustível do bairro ao seu centróide. Efetuando este cálculo, chega-se ao valor de  $\delta_{\text{GNV}} = 1,74$  km. Finalmente, fazendo uso da Equação 13, chega-se ao valor do número de postos, de acordo com os interesses do usuário. Como o somatório das distâncias retangulares é 10,66, dividindo este valor por  $\delta_{\text{GNV}}$  chega-se a um número de 6 postos.

### 3.4. Não-Usuário

Para se estimar o raio de satisfação do não-usuário, deve-se analisar que circunstâncias são interessantes para este ator. A uma distância pequena entre o posto e a residência de um indivíduo que não utiliza o gás natural veicular, diz-se que a utilidade tende a zero. Pode-se admitir que a distância da residência do não-usuário e um posto de distribuição de GNV equivalente a um quilômetro possui utilidade máxima para este tomador de decisão, ou seja, a partir desta distância a utilidade marginal é nula.

Como a utilidade, calculada pelo valor de Shapley para este ator, foi de 25%, temos que o raio ótimo é de 250 metros. Calculando o valor de A pela Equação 12, obtém-se uma área de 194.349,5 m<sup>2</sup>. Como a área da região de estudo é de 3.261.174,3 m<sup>2</sup>, o valor do número de postos, de acordo com os interesses do não-usuário, calculado pela Equação 13, é de 17 postos. Este valor supera o número de postos de combustível existentes no bairro de Fátima nos dias atuais; logo, este número se trata de um valor limite para a instalação de novos postos que ofertem o GNV.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 1 abaixo apresenta-se um resumo dos principais resultados obtidos.

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos do Modelo.

Ator	Número Ótimo de Postos	Tempo de Retorno do Investimento (meses)
Distribuidor	9	6,4
Varejista	9	4,7
Usuário	6	-
Não-Usuário	16	-

A coincidência dos valores dos números de postos obtidos de acordo com os interesses dos atores distribuidor e varejista nos indica que o enfoque proposto pelo modelo em questão é coerente e que, como era de se esperar, o *custo operacional* - tanto da malha dutoviária quanto da infra-estrutura de um posto de combustível - é uma variável vital para o estudo da alocação de postos de distribuição de gás natural. O valor obtido para o usuário é de certa forma incoerente, pois seria de se esperar que o usuário desejasse uma maior quantidade de postos de abastecimento de GNV do que os demais atores. Esta discrepância pode ser explicada devido à condição *ceteris paribus* estabelecida, que considerou como variável apenas as distâncias retangulares. Outras variáveis importantes para o usuário foram consideradas constantes, o que provocou a distorção do valor analisado. O número de postos de acordo com os interesses do não-usuário apresentou uma maior discrepância com relação aos valores obtidos para os demais atores. Tal variação é facilmente justificada, pois o raio de satisfação, variável considerada como chave para o ator em questão, foi estimada sem base em qualquer tipo de estudo, valendo-se apenas de uma suposição considerada aceitável.

Como exercício de sensibilidade, tentou-se alterar variáveis como utilidade, receita, custo e raio de satisfação no modelo proposto para cada ator e essas simulações apresentaram resultados coerentes. Por exemplo, se aumentarmos a utilidade do ator varejista no sistema supracitado ou se o custo do quilômetro de dutovia for aumentado, o número de postos calculado de acordo com os interesses deste ator é menor do que aquele obtido como previamente descrito. Assim, pode-se concluir que, mesmo que os valores obtidos apresentem uma certa discrepância, isso não se deve ao modelo e, sim, aos dados que o alimentaram.

#### 5. Conclusões

O modelo reportado apresentou diversos pontos positivos, podendo-se destacar:

- A análise do conflito de interesses dos atores no cenário analisado, através da Teoria dos Jogos, mostrou-se útil para determinar variáveis-chaves da distribuição de GNV, como número de postos de distribuição e tempo de retorno dos investimentos;
- A normalização dos retornos dos atores, em termos de utilidade, possibilita resolver outros problemas de tomada de decisão envolvendo os vários atores no setor de distribuição de Gás Natural;
- O modelo leva em consideração diversas variáveis mas é bastante simples, podendo ter fácil implementação computacional.

As principais limitações observadas do modelo foram relacionadas às funções de utilidade dos atores envolvidos no setor de distribuição do GNV e que não foram obtidas numericamente neste trabalho, comprometendo a precisão dos resultados obtidos.

Também, devido à falta de dados referentes à demanda potencial de GNV na área de estudo, não se pôde prever quais postos de combustíveis nela existentes deveriam ofertar o GNV; pode-se afirmar, apenas, quantos destes postos devem fazê-lo.

Devido às dificuldades encontradas no trabalho, pode-se sugerir que futuros estudos abordem:

- A elaboração de uma metodologia de previsão de demanda de gás natural veicular em regiões urbanas, levando em conta a área de influência dos postos de abastecimento de combustível já existentes;
- A calibragem de funções de utilidade mais verossímeis para os atores presentes no sistema de distribuição do gás natural e que são indispensáveis para uma alocação otimizada de postos de distribuição.

## **Referências**

CEGÁS, Companhia de Gás do Ceará. [www.cegas.com.br](http://www.cegas.com.br), Acesso em: 13/07/2003.

COSTA, F.N. Economia em 10 lições. Editora Makron Books, 2000.

COLMAN, A.M. Game Theory and its applications in the Social and Biological Sciences. 2nd .Oxford : Butterworth Heinemann, 1995.

HEAP, S.P.H; VAROUFAKIS, Y. Game Theory :A Critical Introduction. London: Routledge, 1995.

OSBORNE, M.J.; RUBINSTEIN, A. A Course in Game Theory. Cambridge: The MIT Press, 1994.

WINSTON, W.L. Operations Research Applications and Algorithms. 2nd . Belmont : PWS-KENT Publishing Company, 1991.