

## **6**

### **Estudo de Caso**

O presente estudo de caso pretende confirmar a tese de que a privatização das infra-estruturas de transporte no Brasil viabilizou o processo de multimodalidade doméstico brasileiro. Por viabilização da opção multimodal, consideramos condições econômicas e operacionais mais competitivas do que a opção monomodal, apresentadas a partir da privatização.

No estudo de caso apresentado, a opção pela multimodalidade (rodoviária, marítima, ferroviária e rodoviária) se mostrou a opção mais adequada ao cliente, em detrimento da opção monomodal rodoviária. A metodologia utilizada para avaliação qualitativa foi o método AHP (Analytic Hierarchy Process), desenvolvido por Thomas Saaty (1991).

#### **6.1.**

##### **Conceitos utilizados no Estudo de Caso**

Em função de salvaguardar informações confidenciais e preservar a imagem da empresa objeto desse estudo de caso, o nome da empresa e os dados quantitativos (valores) não poderão ser disponibilizados. A tabela 28 relaciona os termos utilizados ao longo desse capítulo.

Termo	Conceito
Armador de Cabotagem.	Empresa prestadora do serviço de cabotagem
Cliente	Planta Industrial localizada no município de São Jose dos Campos (SP). É a Instalação fabril do Cliente. É o destino final do produto produzido pelo Fornecedor.
Fornecedor	Instalação fabril fornecedora, localizada no município de Camacari (BA). É a unidade responsável pela produção do produto (matéria prima) objeto do transporte do Estudo de Caso. É também o ponto de origem do transporte.
Matriz de Transportes	E o conjunto de modais de transporte e suas respectivas proporções.
Método AHP	– O AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvida por Thomas L. Saaty (1991).
Operação Porta a Porta	Operação de transporte com origem na Planta Industrial do Fornecedor e destino na Planta Industrial do cliente
Operador Ferroviário	Empresa responsável pela prestação do serviço de transporte ferroviário.
OTM	Operador de Transporte Multimodal.
Plano de Contingência	Plano de ação para uma situação imprevisível ou não planejada.
Plantas Industriais	Instalações Fabris do cliente e do fornecedor.
Produto MP	E a carga objeto do transporte. Trata-se da principal matéria prima utilizada pelo Cliente na sua planta industrial.
Sistema de Transportes	E a operação de transportes completa desde a porta do fornecedor ate a porta do cliente, independente do modal.
Transportador Rodoviário –	Empresa responsável pela prestação do serviço de transporte rodoviário.

Tabela 28 – Termos e respectivos conceitos utilizados no estudo de Caso

## 6.2.

### O Escopo do Estudo de Caso

O escopo do estudo de caso analisa, através do método AHP, o projeto de migração da matriz de transportes exclusivamente monomodal (rodoviária) para uma matriz de transportes totalmente multimodal ao longo do ano de 2003.

O Fornecedor produz 100% da principal matéria prima utilizada pelo Cliente. O problema consiste na avaliação qualitativa da melhor matriz de transportes para o transporte porta a porta desse produto entre as duas plantas industriais, ou seja, avaliar entre os cenários 1 (monomodal) e cenário 2 (multimodal) bem representados pela tabela 29.

Cenário 1: Monomodal	
Transporte exclusivamente rodoviário entre o Fornecedor e o Cliente.	
Cenário 2: Multimodal	
Primeira Etapa	Transporte rodoviário entre o Fornecedor e o Porto de Salvador.
Segunda Etapa	Transporte marítimo (cabotagem) entre os Portos de Salvador e Santos.
Terceira Etapa	Fase 1: Transporte Ferroviário entre o Porto de Santos e o Terminal Ferroviário de Caçapava .
	Fase 2: Transporte Rodoviário entre o Terminal Ferroviário de Caçapava e a Planta Industrial do Cliente.

Tabela 29 – Alternativas de Cenários comparados no Estudo de Caso

Como apresentado na Tabela 29, o cenário monomodal consiste na estufagem do produto no Fornecedor diretamente nas carretas que realizam o transporte via rodoviária até o Cliente. O cenário Multimodal se baseia na conjugação de transporte rodoviário, marítimo e ferroviário, aproveitando as vantagens de cada modal.

A favor do cenário monomodal está o tempo de trânsito que apresenta uma média de 7 dias contra a média de 18 dias do cenário multimodal. Desfavorável ao cenário monomodal se apresentam o custo de frete 20% maior que o custo total do cenário multimodal, um índice maior de sinistro de roubo de cargas e de acidentes que a alternativa monomodal e um maior esforço de gestão total do sistema. No caso do esforço de gestão a figura do OTM simplifica a gestão do cenário multimodal comparado à gestão do monomodal, que mesmo reduzindo a quantidade de transportadoras ainda terá vários interlocutores para administrar.

### **6.3. O método AHP**

O método AHP (Analytic Hierarchy process) é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvida por Thomas L. Saaty (1991). A metodologia baseia-se no princípio de que, para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos, quanto os dados utilizados. A aplicação deste processo reduz o estudo de sistemas extremamente intrincados, a uma seqüência de comparações aos pares de componentes adequadamente identificados.

O AHP é um método que se caracteriza pela capacidade de analisar um problema de tomada de decisão, através da construção de níveis hierárquicos. A tabela 30 ilustra o modelo de estruturação de problema utilizado. O AHP parte do geral para o mais particular e concreto. A ordenação serve para dois propósitos: fornecer uma visão global da relação complexa inerente a situação e, avaliar se os critérios de cada nível são da mesma ordem de magnitude, assim é possível comparar cada elemento homogêneo apuradamente.

Exemplo de Modelo de Estruturação do Problema pelo AHP	
Nível 1	Objetivo principal
Nível 2	Critérios ou fatores de Decisão
Nível 3	Forças limitadoras ou restrições
Nível 4	Resultados possíveis ou cenários.

Tabela 30 – Exemplo de Modelo de Estruturação do problema pelo AHP

O AHP se propõe a fornecer uma estrutura para incluir uma ampla ordenação de julgamentos, objetivos e subjetivos, de uma maneira intuitiva e consistente, que traduzem de forma clara a preferência dos decisores, e pode ser usado quer como uma ferramenta normativa ou descritiva em análise *ex-ante* ou *ex-post*. No estudo de caso presente, nossa análise é *ex-post*.

O método AHP consiste de três etapas para a solução do problema:

Estruturação (decomposição) do problema

Julgamento comparativo

Síntese das prioridades

Segundo Pamplona (1999), o método de Saaty pode ser usado na quantificação de características qualitativas, permitindo a ponderação de todas as características e a priorização dos Critérios ou Fatores de Decisão. A questão central do método é identificar com que peso os fatores individuais do nível mais baixo de uma hierarquia influenciam seu fator máximo, ou seja o objetivo geral.

O método fundamenta-se na comparação das diversas características, duas a duas. A partir da construção de uma matriz quadrada avalia-se a importância de uma característica sobre a outra, utilizando-se para isto uma escala adequada. Saaty propõe a utilização da escala mostrada na tabela 31.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderado	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Muito Forte	Uma atividade é fortemente favorecida; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Extremo	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6 8	Valores intermediários. Se a atividade j recebe um dos valores acima, quando comparada com a atividade i, então j tem o valor recíproco de i	Quando se deseja maior compromisso Uma designação razoável
Racionais	Razões da escala	Se a consistência tiver de se forçada para obter n valores numéricos para completar a matriz

Tabela 31 – Escala proposta por Saaty

Segundo Pamplona (1999), preenchida a matriz de comparação, calcula-se o autovalor e seu correspondente autovetor. O autovetor dá a ordem de prioridade ou hierarquia das características estudadas. Este resultado é importante para a

avaliação dos Cenários Alternativos, pois será utilizado para dar a importância relativa de cada critério e, também, para priorizar os Cenários Alternativos. O autovalor é a medida que permitirá avaliar a consistência ou a qualidade da solução obtida. Esta é outra vantagem do método: a possibilidade de verificação da consistência.

Suponha que  $C_1, C_2, \dots, C_n$  sejam características de Cenários Alternativos, a matriz seria construída como demonstrado na Tabela 32.

	$C_1$	$C_2$	...	$C_n$
$C_1$	1	$a_{12}$		$a_{1n}$
$C_2$	$a_{21}=1/a_{12}$	1		$a_{2n}$
...			1	
$C_n$	$a_{n1}=1/a_{1n}$	$a_{n2}=1/a_{2n}$		1

Tabela 32 – Matriz de comparações

Onde  $a_{ij}$  representa o julgamento quantificado do par de características  $C_i, C_j$  e é definido pelas seguintes regras:

Se  $a_{ij} = \alpha$ , então  $a_{ji} = 1/\alpha$ ,  $\alpha \neq 0$ .

Se  $C_i$  é julgado como de igual importância relativa a  $C_j$ , então  $a_{ij} = 1$ ,  $a_{ji}=1$ , para todo  $i$ .

O autovetor da matriz pode ser estimado pela seguinte fórmula (1):

$$W_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad (1)$$

O autovetor deve ser normalizado para que o somatório de seus elementos seja igual a unidade. Basta, para isto, calcular a proporção de cada elemento em relação a soma dada por (2).

$$T = |W_1/\sum W_i \quad W_2/\sum W_i \quad \dots \quad W_n/\sum W_i| \quad (2)$$

Onde T é o autovetor normalizado e será utilizado para quantificar e ponderar a importância das várias características de um cenário alternativo. Posteriormente será utilizado para priorizar os cenários frente a cada característica.

Para testar a consistência da resposta, o que indica se os dados estão logicamente relacionados, Saaty (1977) propõe o seguinte procedimento:

Estima-se inicialmente o maior autovalor ( $\lambda_{\max}$ ). A estimativa pode ser feita pela equação 3.

$$\lambda_{\max} = T \cdot w \quad (3)$$

Onde w é calculado pela soma das colunas da matriz de comparações.

Calcula-se, então, o índice de consistência (IC) através da expressão (4) :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - T \cdot w}{(n-1)} \quad (4)$$

Considera-se aceitável uma razão de consistência RC menor que 0,10. Para valores de RC maiores que 0,10 recomenda-se uma revisão na matriz de comparações, até que se obtenha RC menor ou igual a este valor.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C			0,5	0,	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5
A	0	0	8	9	2	4	2	1	5	9	1

Tabela 33 – Valores de CA em função da ordem da matriz

O método de Saaty (1991) foi testado em problemas de diversos tipos em que se sabia o valor real. Os resultados obtidos a partir de opiniões foram concordantes com os dados reais, validando assim o método de Saaty.



#### **6.4.**

#### **A avaliação dos Cenários Alternativos : Multimodalidade ou Monomodalidade – Aplicando do Método AHP**

O primeiro passo é a compreensão da complexidade do problema que necessita solução. Começar pela análise e caracterização da situação (diagnóstico e identificação). Segundo Bana (1993b), “É preciso aceitar definitivamente que a subjetividade está onipresente nos processos de tomada de decisão”. Em seguida são geradas as alternativas, que neste estudo de caso denominaremos cenários alternativos.

Assim, o objetivo é avaliar qual a melhor matriz de transportes para o sistema Cliente x Fornecedor. O sistema cliente fornecedor consiste no transporte entre a Planta Industrial do Fornecedor e a Planta Industrial do Cliente. Para estruturar a arbitragem segundo o método AHP descreveremos os critérios e seu grau de influencia sobre o objetivo. A tabela 31 - Alternativas de cenários comparados no Estudo de Caso, apresentada em seção anterior desse mesmo capítulo, ilustra os cenários alternativos.

#### **6.5.**

#### **Critérios de Avaliação**

A seleção dos critérios relevantes e o terceiro passo. Para a avaliação dos cenários Multimodalidade e Monomodalidade elegemos os critérios Tempo de Transito, Custo, Segurança e Gestão, abaixo detalhados.

##### **6.5.1.**

#### **Tempo de Trânsito**

Tempo de Trânsito é o prazo em dias despendido entre a saída do produto MP da planta industrial do Fornecedor até sua chegada na Planta Industrial do Cliente.

### **6.5.2. Custo**

O custo da operação são todos os valores despendidos no sistema de transportes. São os fretes incluindo também estadias de veículos, demurrage de Contêineres ou armazenagem em terminais. Custo talvez seja o critério que mais já esta relacionado com os demais.

### **6.5.3. Segurança**

A segurança é um item gerenciado a nível mundial tanto para o cliente como para o fornecedor. Os sinistros são considerados de dois tipos: acidentes e roubo. Sinistros de acidente especificamente devem ser reportados as respectivas matrizes mundiais, tendo grande impacto negativo na avaliação da performance de ambas as unidades.

### **6.5.4. Gestão**

O critério gestão esta ligado ao esforço despendido tanto no Fornecedor como no Cliente com relação a coordenação das informações da operação de transportes. Essa gestão impacta o disparo de ações de contingência evitando paradas na produção da planta industrial do cliente.

## **6.6. Aplicação do método AHP**

Passa-se então, ao preenchimento da matriz de comparações, com o objetivo de ponderar a importância das características em relação ao caso em análise. A tabela 34 apresenta as comparações paritárias usando a escala de Saaty apresentada na tabela 31.

	Segurança	Custo	Tempo de Transito	Gestão
Segurança	1	5,00	9,00	7,00
Custo	0,20	1	7,00	3,00
Tempo de Transito	0,11	0,14	1	0,33
Gestão	0,14	0,33	3,00	1

Tabela 34 – Matriz de comparações de critérios

Calcula-se, então, o autovetor  $W_i$ :

$$W_i = | \begin{matrix} 4,21 & 1,43 & 0,27 & 0,61 \end{matrix} |$$

Que, normalizado, apresenta o seguinte resultado:

$$T = | \begin{matrix} 0,65 & 0,22 & 0,04 & 0,09 \end{matrix} |$$

Para avaliação da consistência dos dados calcula-se autovalor.

$$\lambda_{\max} \begin{vmatrix} 0,65 & 0,22 & 0,04 & 0,09 \\ 0,22 & 0,65 & 0,04 & 0,09 \\ 0,04 & 0,04 & 0,65 & 0,09 \\ 0,09 & 0,09 & 0,09 & 0,65 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,45 \\ 6,48 \\ 20,00 \\ 11,33 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 4,25$$

O valor do índice de consistência (IC) é de 0,0839 e a razão de consistência (RC) calculada é de 0,093, ou seja, abaixo de 0,1, indicando que os dados são consistentes.

Observa-se que nesse caso o critério segurança é o mais importante para o sistema de transportes, seguido dos critérios custo, gestão e tempo de transito.

### 6.6.1. Comparação dos cenários em relação aos critérios

O procedimento é o mesmo efetuado anteriormente. Entretanto compara-se par a par os cenários frente a cada um dos critérios. O cálculo da consistência dos dados não é pertinente dado a existência de apenas dois elementos, o IC será sempre zero.

#### 6.6.1.1. Critério Segurança

A tabela 35 apresenta a comparação para o critério Segurança.

	Multimodal	Monomodal
Multimodal	1	9,00
Monomodal	0,11	1

Tabela 35 – Critério Segurança

Calcula-se, então, o autovetor  $W_i$ :

$$W_i = \begin{bmatrix} 3 \\ 0,33 \end{bmatrix}$$

Que, normalizado, apresenta o seguinte resultado:

$$T = \begin{bmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{bmatrix}$$

Para avaliação da consistência dos dados calcula-se autovalor.

$$\lambda_{\max} \begin{bmatrix} 0,9 & 0,1 \\ 0,1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,11 \\ 10,00 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 2$$

Observa-se que nesse caso para o critério segurança favorece o cenário multimodal.

### 6.6.1.2.Critério Custo

A tabela 36 apresenta a comparação para o critério Custo.

	Multimodal	Monomodal
Multimodal	1	7,00
Monomodal	0,14	1

Tabela 36 – Critério Custo

Calcula-se, então, o autovetor  $W_i$ :

$$W_i = \begin{bmatrix} 2,65 & 0,38 \end{bmatrix}$$

Que, normalizado, apresenta o seguinte resultado:

$$T = \begin{bmatrix} 0,88 & 0,13 \end{bmatrix}$$

Para avaliação da consistência dos dados calcula-se autovalor.

$$\lambda_{\max} \begin{bmatrix} 0,88 & 0,13 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,14 \\ 8,00 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 2$$

Observa-se que nesse caso para o critério custo, também favorece o cenário multimodal.

### 6.6.1.3. Critério Tempo de Transito

A tabela 37 apresenta a comparação para o critério Tempo de Transito.

	Multimodal	Monomodal
Multimodal	1	0,11
Monomodal	9,00	1

Tabela 37 – Critério Tempo de Trânsito

Calcula-se, então, o autovetor  $W_i$ :

$$W_i = \begin{bmatrix} 0,33 & 3,00 \end{bmatrix}$$

Que, normalizado, apresenta o seguinte resultado:

$$T = \begin{bmatrix} 0,10 & 0,90 \end{bmatrix}$$

Para avaliação da consistência dos dados calcula-se autovalor.

$$\lambda_{\max} \begin{vmatrix} 0,10 & 0,90 \\ 0,10 & 0,90 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10,00 \\ 1,11 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 2$$

Observa-se que nesse caso o critério tempo de transito, favorece o cenário monomodal.

#### 6.6.1.4. Critério Gestão

A tabela 38 apresenta a comparação para o critério Gestão.

	Multimodal	Monomodal
Multimodal	1	5,00
Monomodal	0,20	1

Tabela 38 – Critério Gestão

Calcula-se, então, o autovetor  $W_i$ :

$$W_i = \begin{bmatrix} 0,24 \\ 0,45 \end{bmatrix}$$

Que, normalizado, apresenta o seguinte resultado:

$$T = \begin{bmatrix} 0,83 \\ 0,17 \end{bmatrix}$$

Para avaliação da consistência dos dados calcula-se autovalor.

$$\lambda_{\max} \begin{vmatrix} 0,83 & 0,17 \\ 0,17 & 0,83 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,20 \\ 6,00 \end{vmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 2$$

Observa-se que nesse caso para o critério gestão, também favorece o cenário multimodal.

Os resultados em termos de autovetor e consistência, referentes as matrizes das tabelas 35, 36, 37 e 38 estão consolidadas na tabela 39.

Matrizes Relativas aos Critérios	Autovetor		$\lambda_{max}$	IC	RC
	Multimodal	Monomodal			
Segurança	0,90	0,10	2,00	-	-
Custo	0,88	0,13	2,00	-	-
Tempo de Trânsito	0,10	0,90	2,00	-	-
Gestão	0,83	0,17	2,00	-	-

Tabela 39 – Autovetores e consistência dos dados

Observa-se, através dos valores de RC, que todos os dados são consistentes e, através dos autovetores, qual a importância relativa dos Cenários Multimodal e Monomodal para cada critério. Resta entretanto, priorizar os cenários considerando todas as características na sua devida proporção. Organizando os autovetores da Tabela 39 em uma matriz que relaciona os cenários aos critérios, obtém-se a tabela 40.

	Tempo de Transito	Custo	Segurança	Gestão
Multimodal	0,90	0,88	0,10	0,83
Monomodal	0,10	0,13	0,90	0,17

Tabela 40 – Pesos dos cenários multimodal e monomodal para cada uma das características

A classificação dos cenários é obtida através da multiplicação da matriz da tabela 40 pelo transposto do autovetor que representa os pesos dos critérios. O que se pretende com este procedimento é ponderar cada um dos quatro autovetores da tabela 40 de acordo com o peso de cada critério.

$$\begin{vmatrix} 0,90 & 0,88 & 0,10 & 0,83 \\ 0,10 & 0,13 & 0,90 & 0,17 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0,65 \\ 0,22 \\ 0,04 \\ 0,09 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,86 \\ 0,14 \end{vmatrix}$$



Assim, o cenário multimodal prevalece com 86% da preferência sobre o cenário monomodal. Apesar do cenário monomodal apresentar um melhor tempo de transito do produto MP se coloca em desvantagem frente aos demais critérios: custo, segurança e gestão.