

## **ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO DE UM PROJETO DE CONCESSÃO RODOVIÁRIA**

**Roger Gama Veloso**

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais

**Carlos Roberto Venâncio de Carvalho**

Departamento de Engenharia de Produção – UFMG

### **RESUMO**

Este artigo apresenta um modelo matemático para otimização de um projeto de concessão rodoviária, sob a perspectiva do usuário da rodovia. A hipótese básica é que para a viabilização de uma concessão rodoviária necessita-se de um complexo arranjo financeiro, o que tem concentrado o foco desse tipo de projeto na análise de sua viabilidade econômico-financeira, em detrimento do ponto de vista do usuário. Nesse contexto, são analisados os principais fatores que intervêm na modelagem do problema, a partir dos quais propõe-se um modelo matemático utilizando-se técnicas de programação linear inteira mista, cujo objetivo é maximizar o benefício do usuário, sem prejuízo da viabilidade econômico-financeira do empreendimento. O modelo é validado através de um estudo de caso e os resultados obtidos comprovam sua aderência ao sistema real. O artigo visa contribuir para a sistematização e enriquecimento do processo de tomada de decisão envolvido nesse tipo de empreendimento.

### **ABSTRACT**

The purpose of this article is to present a model for optimization of a highway concession project under the user's perspective. The basic hypothesis is that a complex financial arrangement is required to provide a concession, concentrating the project focus on economical-financial viability analysis in spite of user's perspective. In this context, are analyzed main issues that interfere on problem modeling and is proposed a mathematical model using mixed-integer linear programming techniques. The goal is to maximize the user's benefits, without prejudice the economical-financial project viability. The model is validated through a case study and the obtained results prove the adherence to the real system. This article aim to contribute to the systematization and taking decisions improvement process, on projects like this.

### **1. INTRODUÇÃO**

A grave crise de investimentos no setor de infra-estrutura tem limitado o desenvolvimento econômico do país. Especialmente no setor de transportes, esta crise é consequência do fim de um modelo adotado no passado, quando ainda vigorava o Fundo Rodoviário Nacional (FRN), que garantia a vinculação dos recursos arrecadados para aplicação em rodovias, ferrovias e demais modais de transportes (Harral e Faiz, 1988; Schliessler e Bull, 1994). Com a extinção do FRN em 1988, por ocasião da promulgação da Constituição Brasileira, o setor de transportes assistiu a uma redução drástica dos investimentos e passou a buscar alternativas para o financiamento do setor (Magalhães, 1998). É nesse contexto que as concessões rodoviárias surgiram como alternativa para alavancar recursos para conservação e implantação de melhorias nas rodovias brasileiras de maior tráfego.

Todavia, para a viabilização de uma concessão rodoviária necessita-se de um complexo arranjo financeiro, a fim de se garantir atratividade ao negócio e promover o interesse de investidores para aporte do capital necessário. Este fato tem feito com que o foco do poder concedente se concentre na engenharia financeira da concessão, deixando em segundo plano a avaliação dos benefícios que devem ser proporcionados aos usuários das rodovias. Nesse contexto, o presente artigo pretende contribuir para a análise do processo de tomada de decisões envolvidas num projeto de concessão rodoviária, através do estabelecimento uma modelagem matemática para o problema e proposição de um arranjo de investimentos que maximize o benefício do usuário, sem prejuízo do atendimento às restrições envolvidas no plano de financiamento do empreendimento, sobretudo no que diz respeito ao seu equilíbrio econômico-financeiro.

O projeto de concessão de uma rodovia pode ser analisado sob óticas distintas: dos usuários; do poder concedente; do concessionário; dos investidores; das seguradoras; dos fornecedores de produtos ou serviços; e dos compradores dos serviços e produtos do projeto. O artigo é elaborado sob a perspectiva do poder concedente (enquanto representante do interesse público) e, conseqüentemente, privilegia a visão do usuário da rodovia, não tendo a pretensão de analisar o objeto de estudo sob todas as óticas envolvidas.

## **2. PERGUNTA E HIPÓTESE DA PESQUISA**

O trabalho analisa o arranjo de investimentos que serão realizados em uma concessão rodoviária e cada um desses investimentos proporciona diferentes benefícios, que são mensurados de acordo com sua natureza e o momento em que são alocados durante o período da concessão. Além disso, este arranjo deve satisfazer a restrições de viabilidade econômico-financeira do projeto. Portanto, a pergunta que o artigo pretende responder é: como realizar o arranjo dos investimentos, de forma a maximizar os benefícios dos usuários e, ao mesmo tempo, garantir a viabilidade econômico-financeira do contrato?

Os investimentos que serão executados irão proporcionar benefícios que se traduzem em economias de custos operacionais de veículos, de tempo de viagem, de redução de acidentes, etc. Todavia, a hipótese da pesquisa é que durante a elaboração do projeto de concessão dá-se prioridade à busca de uma solução que garanta a viabilidade econômico-financeira do contrato, sem que o projeto seja analisado sob o ponto de vista do principal interessado: o usuário. Em outras palavras, o benefício econômico do usuário não é sequer estimado, nem tampouco é buscado o melhor arranjo possível de sequenciamento dos serviços, de forma a se encontrar a solução ótima do problema para maximizar este benefício.

## **3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

De uma maneira geral, a análise da viabilidade de um projeto de concessão estrutura-se sobre seu fluxo de caixa e segue basicamente os seguintes passos:

- Calculam-se os fluxos de caixa futuros esperados para o projeto, compreendendo todas as receitas projetadas, despesas e investimentos necessários, durante a vida útil do projeto;
- Avalia-se o risco e determina-se uma taxa de retorno exigida (custo de capital) para o desconto dos fluxos de caixa futuros esperados;
- Calcula-se o valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa futuros esperados; e
- Toma-se a decisão com base nos critérios e indicadores mais apropriados a cada tipo de empreendimento e respectiva forma de financiamento.

O objetivo principal é avaliar se o projeto vale mais para os patrocinadores do que custam. Para tal, são utilizadas técnicas de fluxo de caixa descontado para balizar o processo de análise e tomada de decisão (Brasil, 2002), conforme descrito a seguir.

### **3.1. Fluxo de Caixa da Concessão**

Finnerty (1999) destaca três conceitos importantes envolvidos na análise do fluxo de caixa:

- Os custos e benefícios associados a um projeto devem ser medidos em termos de fluxo de caixa, em vez de lucros. Isto porque é caixa, e não lucro, que é necessário para atender às obrigações financeiras de uma empresa;
- Os fluxos de caixa devem ser medidos em bases incrementais, pois o que interessa é a diferença entre as saídas e entradas de caixa. Além disso, apenas receitas e despesas futuras são relevantes para a decisão de prosseguir ou não com o projeto;

- Os fluxos de caixa futuros esperados devem ser medidos após a dedução dos impostos incidentes (líquidos de impostos), pois de fato é essa a quantia disponível para pagar os patrocinadores ou para realizar reinvestimentos.

Assim, para se medir o valor de um projeto de investimento é necessário calcular os fluxos de caixa incrementais líquidos de impostos, que são a diferença entre entradas e saídas de caixa, deduzida dos impostos incidentes. Com base nessa lógica, o fluxo de caixa de um projeto típico de concessões pode ser representado da seguinte forma:

<b>Fluxo de Caixa</b>
<b>1. Entradas de Caixa</b>
(+) 1.1 Receita Tarifária
(+) 1.2 Receita Financeira
(+) 1.3 Alocação de Capital Próprio
(+) 1.4 Liberação de Parcelas de Empréstimos
<b>2. Saídas de Caixa</b>
(-) 2.1 Despesas de Outorga
(-) 2.2 Custos Operacionais
(-) 2.3 Serviço da Dívida (Principal e Encargos)
(-) 2.4 Investimentos
(-) 2.5 Impostos sobre o faturamento
(-) 2.6 Impostos sobre o lucro
<hr/>
<b>Fluxo de Caixa Incremental Líquido de Impostos (1 – 2)</b>

**Figura 3.1:** Fluxo de Caixa do Projeto com Financiamento

A figura anterior representa um projeto de concessões, referente ao modelo de “concessão onerosa”, onde a tarifa básica de pedágio é pré-definida e a empresa vencedora da licitação é aquela que oferece ao poder concedente o maior valor de pagamento anual de outorga.

Ressalta-se que pode haver variações na representação das parcelas do fluxo de caixa de acordo com o modelo e nomenclatura adotada. Salienta-se também que os fatores (1.4) e (2.3) são incluídos no fluxo de caixa quando se analisa a opção com aporte de recursos externos ao projeto, os quais são normalmente obtidos através de financiamentos bancários, recursos de acionistas, emissão de títulos securitizados e outras formas de financiamento, denominando-se assim *fluxo de caixa alavancado*. Por outro lado, quando se deseja analisar inicialmente a viabilidade do projeto sob a hipótese de haver disponibilidade financeira para implementá-lo sem financiamento, excluem-se da análise os fatores (1.4) e (2.3), passando a denominar-se *fluxo de caixa não alavancado* (Mac Dowel, 1999).

Nos projetos e estudos de viabilidade encomendados pelo poder concedente para subsidiar os processos de licitação, analisa-se previamente a viabilidade do projeto através do fluxo de caixa sem financiamento, ficando a cargo das proponentes a apresentação de seu plano de financiamento e respectivo *fluxo de caixa alavancado*. Por esse motivo, optou-se por modelar o problema considerando-se preliminarmente o *fluxo de caixa não alavancado*, deixando-se a análise do *fluxo de caixa alavancado* para um estudo complementar futuro, sem prejuízo dos aspectos metodológicos adotados.

#### 4. MODELAGEM DO PROBLEMA DE CONCESSÕES

Na análise do fluxo de caixa sem financiamento, as entradas de caixa são compostas basicamente pelas receitas tarifária e financeira. Já as saídas de caixa englobam as despesas de outorga, custos operacionais, investimentos, impostos sobre o faturamento e impostos sobre o lucro. Com base nisso, o problema foi modelado utilizando-se técnicas de programação matemática, a fim de se obter um arranjo otimizado dos investimentos (Goldbarg e Luna, 2000; Carvalho, 2002).

##### 4.1. Dados do Problema

Nesta seção são apresentados os fatores que se constituem dados de entrada do problema, uma vez que são os parâmetros iniciais do modelo.

##### 4.1.1. Receita Tarifária

A receita tarifária anual ( $RT_t$ ) da concessionária, considerando-se praças de pedágio com arrecadação em dois sentidos de tráfego, pode ser calculada da seguinte maneira:

$$RT_t = \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^2 (TVE_{tks} \times TBP_{tks}) \quad \forall t=1,2,\dots,n \quad (4.1)$$

Onde,  $TVE_{tks}$  = Total de veículos equivalentes no período “t”, na praça de pedágio “k” e sentido de tráfego “s”

$TBP_{tks}$  = Tarifa básica de pedágio no período “t”, na praça de pedágio “k” e sentido de tráfego “s”

$n$  = período de avaliação (normalmente em anos)

$p$  = número de praças de pedágio

$s$  = sentidos de tráfego

##### 4.1.2. Receita Financeira

A receita financeira da concessionária é função da receita tarifária, já que é a aplicação desta receita, durante o período compreendido entre a entrada e saída de caixa, que origina a receita financeira. Assim:

$$RF_t = f(RT_t) = k_f \cdot \left[ \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^2 (TVE_{tks} \times TBP_{tks}) \right] \quad \forall t=1,2,\dots,n \quad (4.2)$$

Onde,  $RF_t$  = Receita financeira no período “t”

$k_f$  = Fator de receita relacionado ao período médio de aplicação financeira

##### 4.1.3. Alocação de Capital Próprio

Normalmente, a alocação de capital próprio surge no âmbito das garantias contratuais do *project finance* do negócio (Finnerty, 1999), como forma minimizar o risco dos investidores externos e garantir atratividade ao negócio. No modelo atual optou-se por desconsiderar tal parcela e assumir que as receitas tarifárias e financeiras serão suficientes para garantir a viabilidade econômico-financeira do projeto, uma vez que tal premissa não compromete a modelagem proposta e seus aspectos metodológicos continuam preservados.

##### 4.1.4. Despesas de Outorga

No modelo de “concessão onerosa”, as despesas de outorga também são dados de entrada do modelo, pois são valores oferecidos pela concessionária na sua proposta comercial, durante a fase de licitação, a serem pagos anualmente para exploração do lote. Pode-se denotar por:

$DO_t$  = Despesas de outorga no período “t”

#### 4.1.5. Custos Operacionais

Os custos operacionais são compostos de custos administrativos; de conservação; de seguros e garantias; de fiscalização; e demais custos fixos envolvidos. Ressalta-se que todos eles são calculados a partir do pré-dimensionamento de equipes operacionais, aparatos administrativos, serviços rotineiros e custos fixos previstos pela concessionária. Portanto, não se constituem variáveis do modelo. Assim:

$$CO_t = \text{Custos operacionais no período "t"}$$

#### 4.1.6. Investimentos Pré-definidos

Os serviços de recuperação inicial da rodovia são dados de entrada do problema, pois via de regra são pré-definidos no contrato e estes serviços são executados geralmente nos primeiros 6 (seis) meses da concessão. Dessa forma:

$$IRI_t = \text{Investimentos em recuperação inicial, no período "t"}$$

Os investimentos em restauração acontecem nos primeiros anos da concessão, após os serviços de recuperação inicial, e geralmente limitados a um prazo máximo de execução. Pode-se denotar estes investimentos da seguinte maneira:

$$IR_t = \text{Investimento anual em restauração, no período "t"}$$

Os serviços de manutenção dependem do arranjo final dos serviços de restauração e são pré-dimensionados também em função dos parâmetros de desempenho estipulados no contrato, possuindo assim períodos definidos para sua execução.

$$IM_t = \text{Investimentos em manutenção no período "t"}$$

Os investimentos para operação/administração da rodovia também são pré-definidos nos contratos e possuem períodos determinados de aplicação.

$$IOA_t = \text{Investimentos em operação/administração no período "t"}$$

#### 4.1.7. Impostos sobre o Faturamento

Os impostos sobre o faturamento incidem diretamente sobre a receita tarifária da concessionária, portanto, pode ser expresso em função desta. Assim:

$$IF_t = f(RT_t) = k_i \cdot \left[ \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^2 (TVE_{iks} \times TBP_{iks}) \right] \quad \forall t=1,2,\dots,n \quad (4.3)$$

Onde,  $IF_t = \text{Impostos sobre faturamento no período "t"}$

$k_i = \text{Percentual total de impostos sobre o faturamento}$

## 4.2. Variáveis e Restrições do Problema

Nesta seção são definidas as variáveis do problema, constituídas por alguns tipos de investimentos e pelos impostos sobre o lucro. Também são descritas as restrições impostas para solução do respectivo problema.

### 4.2.1. Investimentos em Melhorias e Aumento de Capacidade

Os investimentos em melhorias e aumento de capacidade são intervenções previstas no Plano de Exploração da Rodovia (PER), que caracterizam melhoramentos quanto à segurança, conforto e fluidez do tráfego. Em geral, este grupo de investimentos é o que possui a maior flexibilidade quanto ao período de execução. Por isso, o equilíbrio econômico-financeiro do contrato é alcançado justamente através da composição de um arranjo destes investimentos no fluxo de caixa, de forma a atender à taxa interna de retorno (TIR) determinada para o projeto.

Dessa forma, pode-se representar as respectivas variáveis da seguinte maneira:

$$CI_{it} = CI_i \times Y_{it} \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ \forall t=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (4.4)$$

Onde,  $CI_{it}$  = Desembolso da intervenção “i”, executada no período “t”

$CI_i$  = Custo total da intervenção “i”

$Y_{it}$  = Percentual financeiro da intervenção “i”, executado no período “t”

$m$  = número de intervenções

$n$  = período de avaliação (em anos)

E o cálculo do montante anual de investimentos em melhorias e aumento de capacidade ( $IMA_t$ ) é dado por:

$$IMA_t = \sum_{i=1}^m CI_{it} = \sum_{i=1}^m (CI_i \times Y_{it}) \quad (4.5)$$

A variável  $Y_{it}$  é um valor percentual, logo:

$$0 \leq Y_{it} \leq 1 \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ \forall t=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (4.6)$$

O investimento em cada intervenção é executado apenas uma vez durante o período da concessão. Portanto:

$$\sum_{t=1}^n Y_{it} = 1 \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ \forall t=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (4.7)$$

Normalmente, é grande o número e o tipo de intervenções previstas no PER, tais como: construção de passarelas e passagens inferiores, execução de terceiras faixas e acostamentos, retificação de traçados, reformulação de interseções, etc., o que teoricamente proporcionaria um número muito grande de arranjos possíveis para o problema. Na prática, existem algumas condições técnicas que reduzem o número de arranjos do problema, como por exemplo:

a) As intervenções podem obedecer a um prazo máximo de execução ( $\Delta t_i$ ) depois de iniciados, tal que:

$$\sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta t_i} Y_{it} = 1 \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ t_i, \Delta t_i \in \mathbb{N}^+ \end{cases} \quad (4.8)$$

Onde,  $t_i$  = ano de início da intervenção “i” (variável do problema)

$\Delta t_i$  = prazo máximo para execução da intervenção “i”

Porém, na restrição acima o valor de  $t_i$  é uma variável. Assim,  $t_i$  pode ser calculado da seguinte maneira:

$$t_i = \sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta t_i} t \cdot Z_{it} \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ Z_{it} = 0;1 \text{ (binário)} \end{cases} \quad (4.9)$$

E o valor de  $t_i$  deve ser único. Portanto:

$$\sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta t_i} Z_{it} = 1 \quad \forall i=1,2,\dots,m \quad (4.10)$$

#### 4.2.2. Impostos sobre o Lucro

Os impostos sobre o lucro dependem dos lançamentos contábeis referentes à depreciação dos ativos, que por sua vez dependem dos investimentos realizados em cada ano. Como alguns investimentos são variáveis, conclui-se que os impostos sobre o lucro também se constituem variáveis do problema.

Para o cálculo dos impostos sobre o lucro, deve-se proceder primeiramente ao cálculo do lucro antes do imposto de renda ( $LAIR_t$ ), da seguinte forma:

$$LAIR_t = [(RT_t + RF_t) - (IF_t) - (DO_t) - (CO_t) - (DA_t)] \quad (4.11)$$

Onde,  $LAIR_t$  = Lucro antes do impostos de renda no período “t”

$DA_t$  = Depreciação dos ativos no período “t”

Porém, à exceção dos demais fatores da equação acima, a depreciação dos ativos ( $DA_t$ ) é uma variável do problema, uma vez que depende do arranjo dos investimentos ao longo do período de concessão. Conforme visto anteriormente, os investimentos são compostos por fatores que são dados ou variáveis do problema. Os investimentos caracterizados como dados do problema são os serviços de recuperação inicial, de restauração, de manutenção e os de operação/administração. Já os investimentos anuais em obras de melhorias e aumento de capacidade são variáveis do problema. Portanto, a depreciação dos ativos ( $DA_t$ ) será calculada da seguinte forma:

$$DA_t = [ \underbrace{(DRI_t + DR_t + DM_t + DOA_t)}_{\text{Dados do problema}} + \underbrace{DMA_t}_{\text{Variável do problema}} ] \quad (4.12)$$

Onde,  $DRI_t$  = Depreciação dos investimentos em recuperação inicial no período “t”

$DR_t$  = Depreciação dos investimentos em restauração no período “t”

$DM_t$  = Depreciação dos investimentos em manutenção no período “t”

$DOA_t$  = Depreciação dos investimentos em operação/administração no período “t”

$DMA_t$  = Depreciação dos investimentos em obras de melhorias e aumento de capacidade no período “t”

Os investimentos realizados na maioria das concessões rodoviárias são de grande vulto e há a necessidade de depreciá-los ou amortizá-los, no máximo, no prazo da concessão. Nesses casos, a legislação vigente estabelece que “*poderá ser amortizado o capital aplicado na aquisição de bens cuja utilização tenha prazo contratualmente limitado*”, usufruindo-se assim de um processo acelerado de depreciação de alguns itens de investimento (Rocha, 2001). Portanto, a depreciação específica dos investimentos em obras de melhorias e aumento de capacidade ( $DMA_t$ ) pode ser calculada da seguinte forma:

$$DMA_t = \sum_{i=1}^t \left[ \frac{\sum_{i=1}^m (CI_i \times Y_{it})}{n - (t - 1)} \right] \quad (4.13)$$

Definidas as variáveis que determinam o valor do  $LAIR$ , o imposto sobre o lucro pode ser calculado por:

$$IL_t = LAIR_t \times IR\% + (LAIR_t - DIR) \times IRA\% + LAIR_t \times CS\% \quad (4.14)$$

Onde,  $IL_t$  = Impostos sobre lucro no período “t”  
 $IR\%$  = Alíquota de imposto de renda (%)  
 $IRA\%$  = Alíquota de imposto de renda sobre adicional (%)  
 $DIR$  = Valor a deduzir p/ cálculo do adicional do IR  
 $CS\%$  = Alíquota de Contribuição Social (%)

#### 4.2.3. Restrição de Equilíbrio Econômico-Financeiro

O equilíbrio econômico-financeiro do contrato será alcançado quando o valor presente líquido (VPL) das entradas de caixa (EC) se igualar ao valor presente líquido das saídas de caixa (SC), para uma determinada taxa interna de retorno (FIPE, 2001). Logo:

$$VPL (EC) = VPL (SC) \quad (4.15)$$

O cálculo dos valores presentes líquidos das entradas e saídas de caixa pode ser realizado de acordo com as seguintes fórmulas:

$$VPL (EC) = \sum_{t=1}^n \frac{EC_t}{(1+j)^t} \quad (4.16)$$

$$VPL (SC) = \sum_{t=1}^n \frac{SC_t}{(1+j)^t} \quad (4.17)$$

$$j \text{ (taxa de desconto)} = TIR \text{ (taxa interna de retorno)} \quad (4.18)$$

Substituindo-se as equações acima em (4.15), temos:

$$\sum_{t=1}^n \frac{EC_t}{(1+TIR)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{SC_t}{(1+TIR)^t} \quad (4.19)$$

As entradas de caixa anuais são calculadas pela soma das receitas tarifária e financeira em cada período, que são dados do problema. Assim, as entradas de caixa anuais podem ser escritas da seguinte maneira:

$$EC_t = RT_t + RF_t \quad (4.20)$$

Por sua vez, as saídas de caixa anuais são calculadas pela soma das despesas de outorga, custos operacionais, investimentos, impostos sobre o faturamento e impostos sobre o lucro. Todavia, os investimentos anuais em obras de melhorias e aumento da capacidade, juntamente com os impostos sobre o lucro, são variáveis do problema, pois dependem do arranjo destes investimentos ao longo do período de concessão. Assim, as saídas de caixa anuais podem ser representadas por:

$$SC_t = \underbrace{[(DO_t + CO_t + IRI_t + IR_t + IM_t + IOA_t + IF_t)]}_{\text{Dados do problema}} + \underbrace{[IMA_t + IL_t]}_{\text{Variáveis do problema}} \quad (4.21)$$

Assim, estão estabelecidas todas as equações que compõem os dados, as variáveis e as restrições do projeto típico de concessões, restando apenas estabelecer a função que se pretende otimizar.

#### 4.3. Função-Objetivo

A função-objetivo a ser otimizada no presente problema é “maximizar o benefício do usuário”. Os benefícios do usuário dependem dos tipos de investimentos que serão realizados na rodovia, bem como, do ano em que serão executados. Para o mesmo investimento, quanto mais próximo do ano “zero” for executado, maior será o valor presente líquido (VPL) dos benefícios gerados. Portanto, a função-objetivo pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar Valor Presente Líquido dos Benefícios} \Rightarrow \text{Max } VPL (B)$$



Ou seja,

$$\text{Max VPL}(B) = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+j)^i} = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^n \frac{B_{it}}{(1+j)^i} \quad (4.22)$$

Onde,  $B_i$  = Montante anual dos benefícios no período “ $t$ ”  
 $B_{it}$  = Montante dos benefícios gerados pelo investimento “ $i$ ”, no período “ $t$ ”

Também aqui, os benefícios poderão ser dados ou variáveis do problema. Os benefícios relacionados aos investimentos em recuperação inicial, em restauração, em manutenção e em operação/administração serão dados do problema. Aqueles relacionados aos investimentos em obras de melhoria e aumento da capacidade serão variáveis do problema, uma vez que não se sabe inicialmente qual a parcela destes investimentos serão realizados em cada ano do período de concessão. Portanto, os benefícios anuais podem ser calculados da seguinte forma:

$$B_i = \underbrace{[(BRI_i + BR_i + BM_i + BOA_i)]}_{\text{Dados do problema}} + \underbrace{BMA_i}_{\text{Variável do problema}} \quad (4.23)$$

Onde,  $BRI_i$  = Benefícios gerados p/ investimentos em recuperação inicial, no período “ $t$ ”  
 $BR_i$  = Benefícios gerados pelos investimentos em restauração no período “ $t$ ”  
 $BM_i$  = Benefícios gerados pelos investimentos em manutenção no período “ $t$ ”  
 $BOA_i$  = Benefícios gerados p/ investimentos em operação/administração no período “ $t$ ”  
 $BMA_i$  = Benefícios gerados pelos investimentos em obras de melhorias e aumento da capacidade no período “ $t$ ”

## 5. ESTUDO DE CASO

Para fins específicos de validação do modelo proposto, realizou-se o estudo de caso de um projeto de concessão rodoviária, com vigência contratual de 24 anos, encomendado pelo poder concedente para subsidiar o processo de licitação. Foram apresentados no projeto todos os elementos necessários à análise de sua viabilidade econômico-financeira, bem como uma solução inicial para o projeto, com o respectivo arranjo de investimentos. Considerou-se ainda no projeto, uma taxa de desconto ( $j$ ) de 12% e uma taxa interna de retorno ( $TIR$ ) de 18%. O modelo adotado foi o de “concessão onerosa” e presumivelmente será estruturado como um *project finance*, modalidade de financiamento onde a empresa vencedora da licitação constituir-se-á como uma sociedade de propósito específico (SPE), a fim de investir e operar o empreendimento durante o período da concessão (Finnerty, 1999; Santiago, 2002).

Complementarmente, foi necessário realizar uma estimativa da matriz anual dos benefícios ( $B_{it}$ ) gerados por cada um dos investimentos previstos no PER. Nesse cálculo, optou-se por considerar apenas os benefícios diretos tangíveis gerados pelos investimentos, ou seja, aqueles relacionados ao aumento da segurança, à diminuição dos custos operacionais de veículos e à redução do tempo de viagem, conforme metodologia citada por Rocha (2001). Para informações complementares a respeito do estudo de caso, vide Veloso (2004).

### 5.1. Resolução do Modelo através de Programação Linear Inteira Mista (PLIM)

Todo o processo de cálculo foi realizado com base nos percentuais anuais de investimentos em obras de melhorias e aumento de capacidade, ou seja, as variáveis principais do problema. Assim, foi utilizado o modelo de programação linear inteira mista (Goldberg e Luna, 2000; Carvalho, 2002) a fim de determinar os valores dessas variáveis que iriam maximizar o benefício do usuário, que em última análise constitui-se a questão central deste trabalho. O modelo final pode ser escrito sucintamente da seguinte forma, devendo-se considerar ainda as equações auxiliares descritas na seção 4 para cálculo dos demais parâmetros do modelo:

$$\text{Função Objetivo: } \text{Max } VPL(B) = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+j)^t} = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^n \frac{B_{it}}{(1+j)^t} \quad (4.22)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{t=1}^n \frac{EC_t}{(1+TIR)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{SC_t}{(1+TIR)^t} \quad (4.19)$$

$$IMA_t = \sum_{i=1}^m CI_{it} = \sum_{i=1}^m (CI_i \times Y_{it}) \quad (4.5)$$

$$0 \leq Y_{it} \leq 1 \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ \forall t=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\sum_{t=1}^n Y_{it} = 1 \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ \forall t=1,2,\dots,n \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta t_i} Y_{it} = 1 \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ t_i, \Delta t_i \in N^+ \end{cases} \quad (4.8)$$

$$t_i = \sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta t_i} t \cdot Z_{it} \quad \begin{cases} \forall i=1,2,\dots,m \\ Z_{it} = 0;1 \text{ (binário)} \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta t_i} Z_{it} = 1 \quad \forall i=1,2,\dots,m \quad (4.10)$$

$$DMA_t = \sum_{i=1}^t \left[ \frac{\sum_{i=1}^m (CI_i \times Y_{it})}{n - (t-1)} \right] \quad (4.13)$$

### 5.1.1. Resultados

O modelo acima descrito foi executado em um computador com configuração Pentium III, 1.2 Ghertz, 256 MB de memória RAM, sistema operacional LINUX Mandrake, versão 10.0 e software de Programação Linear GLPK v. 4.4. A resposta foi obtida com tempo de processamento de 4,0 segundos, indicando uma “solução ótima” com os seguintes resultados:

**TABELA 5.1:** Indicadores de Projeto da Solução Encontrada

Solução	$VPL_{FC}$	$VPL_B$	$VPL_{BMA}$	$TIR$	$PBS$	$PBC$
<b>Inicial</b>	25.088	432.923	84.687	17,96%	10,28	13,49
<b>Solução</b>	25.541	439.357	91.121	18,00%	10,00	14,65
<b>(PLIM)</b>	(+1,81%)	(+1,49%)	(+7,60%)	$ \epsilon  < 0,001\%$	(-2,71%)	(+8,57%)

- Valor presente líquido do fluxo de caixa do projeto ( $VPL_{FC}$ )  
O valor foi maior 453 (R\$ x 1000) em relação à solução inicial, indicando um aumento relativo de 1,81% no valor presente líquido do fluxo de caixa do projeto. Apesar de significativo, este resultado pode ser considerado fortuito, uma vez que não existe no modelo nenhuma condição imposta para o aumento do  $VPL_{FC}$ .
- Valor presente líquido dos benefícios do projeto ( $VPL_B$  e  $VPL_{BMA}$ )  
O valor do valor presente líquido dos benefícios gerados pelo conjunto de investimentos ( $VPL_B$ ) apresentou um aumento de 6.434 (R\$ x 1000) em relação à solução inicial, o que corresponde a 1,49%. Porém, esse aumento foi produzido basicamente através do

rearranjo dos investimentos em obras de melhorias e aumento de capacidade ( $BMA_i$ ). Portanto, se for considerado apenas o aumento referente ao  $VPL_{BMA}$ , pode-se afirmar que a melhoria relativa proporcionada pelo modelo foi de 7,60%.

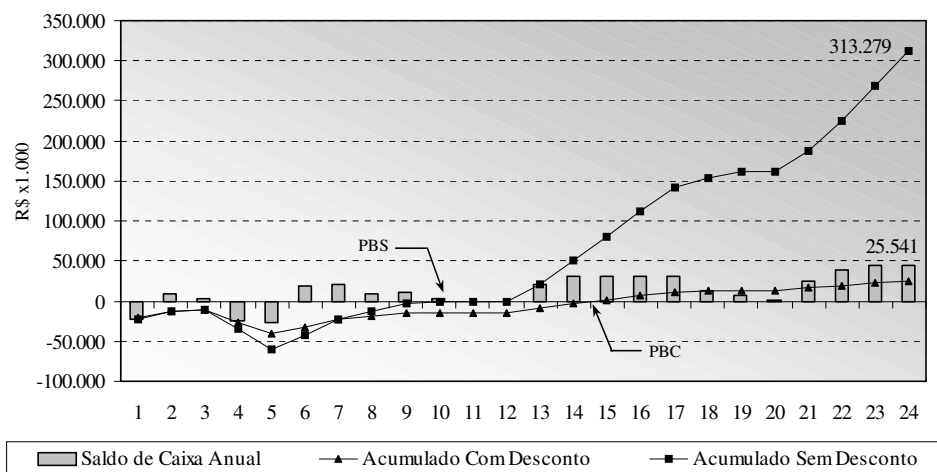
▪ Taxa interna de retorno (*TIR*)

A taxa interna de retorno do projeto também foi de 18,00%, com valor de erro absoluto menor que 0,001%, indicando a precisão do resultado associado à restrição de equilíbrio econômico-financeiro do contrato.

▪ Payback simples e corrigido (*PBS* e *PBC*)

O valor de *payback* simples (*PBS*) diminuiu 0,28 anos em relação à solução inicial, indicando uma redução de 2,71%. Porém, o valor de *payback* corrigido (*PBC*) aumentou 1,16 anos em relação à solução inicial, indicando um acréscimo de 8,57%.

Os resultados de  $VPL_{FC}$ , *PBS* e *PBC* podem ser visualizados no gráfico abaixo:



**Gráfico 5.1:** Fluxo de Caixa do Projeto

## 6. CONCLUSÕES

O modelo proposto foi desenvolvido e validado através de um estudo de caso, cujas respostas foram totalmente compatíveis com as restrições impostas ao projeto original, além de possibilitar a tomada de decisões baseada em indicadores amplamente utilizados nesse tipo de análise, o que comprova sua eficiência e aderência ao sistema real. A qualidade das respostas oferecidas permite afirmar que o modelo cumpre plenamente o objetivo proposto de otimização do arranjo de investimentos, sob a perspectiva da maximização dos benefícios dos usuários. Ressalta-se, nesse contexto, que o modelo proporcionou melhorias percentuais significativas do VPL dos benefícios dos usuários. É importante salientar que tais números não permitem estabelecer um parecer definitivo sobre os percentuais reais de melhoria, pois foram baseados em estimativas dos benefícios, não obstante terem sido realizadas com base em parâmetros e valores tecnicamente aceitáveis. Porém, pode-se concluir que sua ordem de grandeza revela o grande potencial de melhoria proporcionada pelo modelo matemático.

### 6.1. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Sabe-se que existem questões, além dos aspectos ora abordados, que são difíceis de serem expressas em um modelo matemático, face à própria complexidade do processo de tomada de decisão. Por isso, muitas vezes a decisão final incorpora também valores qualitativos ou intangíveis dos agentes envolvidos no processo. Assim, o desenvolvimento de um modelo de decisão mais abrangente, deverá também considerar uma revisão bibliográfica das metodologias que contemplem estas questões. Além disso, a avaliação quantitativa aprofundada dos benefícios econômicos proporcionados pelo empreendimento constitui-se em assunto pouco abordado na literatura e extremamente rico para trabalhos futuros.

Por fim, o modelo proposto não tem a pretensão de contemplar toda complexidade do processo a ser implementado, uma vez que são muitos os atores e aspectos a serem considerados para sua efetiva implementação. Todavia, espera-se que o trabalho até aqui desenvolvido contribua para a sistematização e enriquecimento do processo de tomada de decisão envolvido na implantação de um empreendimento dessa natureza, além de se constituir em ponto de partida para construção de um modelo matemático que incorpore as diversas óticas envolvidas neste processo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil, H. G. (2002) *Avaliação Moderna de Investimentos*. Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro, 222p.
- Carvalho, C. R. V. (2002) *Programação Matemática - Métodos Quantitativos em Engenharia de Produção III (Notas de Aula)*. Departamento de Engenharia de Produção / UFMG, Belo Horizonte, MG.
- Finnerty, J. D. (1999) *Project Finance: Engenharia Financeira Baseada em Ativos*. Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro, 355 p.
- FIPE (2001) *Avaliação do Equilíbrio Econômico e Financeiro de Contratos de Concessão de Rodovias*. Coordenação: Roberto Guena de Oliveira.
- Goldbarg, M. C. e H. P. L. Luna (2000) *Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos*. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 649p.
- Harral, C. e A. Faiz (1988). *El deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo – Causas y Soluciones*. Estudo de Políticas do Banco Mundial. ISBN 0-8213-1114 X.
- Mac Dowell, F. (1999) *Análise e Reavaliação do Programa de Concessões: parecer técnico conclusivo*. DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Porto Alegre, RS.
- Magalhães, V. L. (1998) *Concessão de Rodovias e o Financiamento do Sistema Rodoviário Nacional (Nota Técnica)*, Brasília, DF.
- Rocha, J. G. C. (2001) *Análise da Utilização do Modelo Project Finance como Instrumento de Alocação de Recursos e Seleção de Projetos de Investimento em Infra-Estrutura Rodoviária*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Metodista de Piracicaba, Campinas, SP, 121p.
- Santiago, M. P. (2002) *Project Finance: Análise Comparativa de Projetos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 165p.
- Schliessler, A. S. e A. Bull (1994) *Caminhos: Um Novo Enfoque para a Gestão e Manutenção Rodoviária*. CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e Caribe, Nações Unidas. Tradução não oficial: IPC-BR, 246p.
- Veloso, R.G. (2004) *Análise de Otimização de um Projeto de Concessão Rodoviária: Maximizando o Benefício do Usuário*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 142p.

---

Roger Gama Veloso (crg37.der@mg.gov.br)  
Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais  
Av. dos Andradas, 1120 – Centro - Belo Horizonte, MG, Brasil

Carlos Roberto Venâncio de Carvalho (carlos@dep.ufmg.br)  
Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia da UFMG  
Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG, Brasil