

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS**

Marcelo Dihl

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADO
EM CUSTOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

Porto Alegre
2009

Marcelo Dihl

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADO
EM CUSTOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

Trabalho de conclusão do curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Eduardo Ribas Santos

Porto Alegre

2009

Marcelo Dihl

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADO
EM CUSTOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Conceito Final:

Aprovado em _____ de _____ de 2009

BANCA EXAMINADORA:

Prof.

Prof.

Prof.

Orientador – Prof.

À minha esposa e filhas, para quem dedico o resultado dessa conquista.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Estela, que sempre esteve do meu lado, dedicando carinho e amizade.

Às minhas filhas, Gabriela e Fernanda, para as quais sempre dedicarei o máximo esforço em demonstrar que os estudos são a base da formação do indivíduo.

Ao meu grande amigo Miguel Taffarel, a quem acompanho profissionalmente e sempre estimei pela força e coragem de empreender.

Aos familiares, amigos e colegas que sempre estiveram do meu lado no decorrer dessa jornada, incentivando e ressaltando a importância dessa conquista.

Ao Eduardo Ribas Santos, que com muita paciência acompanhou o desenvolvimento do presente estudo.

Por fim, aos professores desta Escola, que despertaram meu desenvolvimento intelectual, especialmente àqueles que lançaram desafios ao estimular o aprofundamento de estudos nas áreas de interesse pessoal.

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade a apreciação de um conjunto crítico de ferramentas de gestão de apoio para a tomada de decisão em uma empresa de pequeno porte, atuante na área de serviços de pavimentação asfáltica na Grande Porto Alegre.

É realizado um estudo acerca das ferramentas de apoio à decisão relativo aos três níveis de planejamento da empresa, com foco central nos aspectos peculiares da sua estrutura de custos e dificuldades de obtenção de crédito, utilizando-se dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de administração.

Palavras-Chave: Pesquisa operacional. Programação linear. Estrutura de custos. Orçamento. Custos de concreto asfáltico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação simplificada do processo de modelagem	27
Figura 2 – Esquema simplificado do processo de britagem	31
Figura 3 – Britagem primária	32
Figura 4 – Britagem secundária	32
Figura 5 – Vista de uma instalação de britagem	32
Figura 6 – Agregado de forma lamelar	34
Figura 7 – Agregado de forma cúbica	34
Figura 8 – Usina de Asfalto típica.....	37
Figura 9 – Acabadora de asfalto	38
Figura 10 – Rolo de chapa	38
Figura 11 – Rolo de pneus	38
Figura 12 – Concreto asfáltico – camadas de rolamento	39
Figura 13 – Fórmula de determinação da taxa de consumo	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos de determinação das características mecânicas dos agregados	35
Tabela 2 – Quadro I das Especificações Gerais do DAER/RS.....	41
Tabela 3 – Tolerância admitida na faixa de projeto.....	41
Tabela 4 – Quadro IV das Especificações do DAER/RS.....	42
Tabela 5 – Variação dos preços médios de britas e areia no período de mai/06 a mai/09	44
Tabela 6 – Teor de mistura entre os agregados.....	46
Tabela 7 – Taxa de consumo dos insumos	47
Tabela 8 – Preços unitários de aquisição das matérias-primas, por fornecedor	48
Tabela 9 – Distâncias rodoviárias e tarifas de frete.....	49
Tabela 10 – Custos unitários finais do material colocado na usina de asfalto	50
Tabela 11 – Composição do <i>mix</i> de produção conforme projetos asfálticos.....	50
Tabela 12 – Especificações de teor de material da faixa – A.....	54
Tabela 13 – Limites inferiores da faixa – A	56
Tabela 14 – Limites superiores da faixa – A.....	56
Tabela 15 – Especificações de teor de material da faixa – B (DAER/RS).....	57
Tabela 16 – Limites inferiores da faixa – B	57
Tabela 17 – Limites superiores da faixa – B.....	57
Tabela 18 – Restrições dos consumos de matéria-prima	58
Tabela 19 – Restrições que determinam as origens do fornecimento.....	59
Tabela 20 – Linhas de atribuição para os custos de matéria-prima	61
Tabela 21 – Linhas de atribuição para os custos de fretes	62
Tabela 22 – Resultados obtidos	64
Tabela 23 – Cenário 1 – Custos de projeto com mistura original.....	65
Tabela 24 – Cenário 1 – Custos de projeto com mistura ótima.....	66
Tabela 25 – Cenário 2 – Custos com Pedreira 3 restrita a 900 toneladas	66
Tabela 26 – Cenário 3 – Custos com Pedreira 3 atendendo à demanda da usina ...	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. A EMPRESA.....	13
1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.3. JUSTIFICATIVA	16
1.4. OBJETIVOS	17
1.4.1. Geral	17
1.4.2. Específicos.....	17
2. REVISÃO TEÓRICA	18
2.1. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO	18
2.2. CONTROLADORIA	19
2.3. ESTATÍSTICA APLICADA.....	20
2.3.1. Estatística descritiva	21
2.3.2. Estatística inferencial	21
2.3.3. Probabilidades	21
2.3.4. Análise de regressão linear.....	22
2.3.5. Correlação linear.....	23
2.3.6. Análise <i>Bayesiana</i>	23
2.4. DESEMPENHO LOGÍSTICO.....	24
2.4.1. Logística enxuta.....	24
2.4.2. Objetivos do desempenho logístico	24
2.4.3. Avaliação do desempenho logístico.....	25
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	26
3.1. PESQUISA OPERACIONAL	26
3.1.1. Formulação do problema	27
3.1.2. Construção do modelo do sistema.....	27
3.1.2.1. Variáveis controladas ou de decisão	28
3.1.2.2. Variáveis não controladas	28
3.1.3. Cálculo da solução do modelo	28
3.1.4. Teste da solução do modelo	29
3.1.5. Estabelecimento de controles da solução.....	29
3.1.6. Implantação e acompanhamento.....	29

4.	CONSTRUÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	30
4.1.	ANÁLISE DA SITUAÇÃO	30
4.1.1.	Pavimentação asfáltica	30
4.1.2.	Operações de britagem.....	30
4.1.3.	Agregado mineral.....	33
4.1.3.1.	Classificação quanto à origem.....	33
4.1.3.2.	Classificação quanto à densidade das partículas.....	33
4.1.3.3.	Classificação quanto à forma das partículas	34
4.1.3.4.	Determinação das características mecânicas	34
4.1.3.5.	Classificação quanto ao tamanho dos fragmentos.....	35
4.1.4.	Usinas de Asfalto	36
4.1.5.	Concreto asfáltico	39
4.1.5.1.	Composição do concreto asfáltico.....	39
4.1.6.	Composição de custos.....	43
4.1.7.	Incorporação de uma nova unidade de negócios	44
4.2.	COLETA DE DADOS.....	45
4.2.1.	Custos variáveis e teores de mistura	46
4.2.2.	Custos unitários das matérias-primas	48
4.2.3.	Custos unitários de fretes	49
4.2.4.	Custos unitários finais	49
4.2.5.	Nível de produção	50
4.3.	FORMULAÇÃO DAS RESTRIÇÕES.....	51
4.3.1.	Nível de produção	51
4.3.2.	Nível de consumo de matérias-primas.....	53
4.3.3.	Misturas para as faixas de concreto adotadas.....	54
4.3.3.1.	Mistura para a faixa – A (DAER)	54
4.3.3.2.	Mistura para a faixa – B (DAER)	57
4.3.4.	Consumos de matérias-primas	58
4.3.5.	Origens das matérias-primas	59
4.3.6.	Custos com matérias-primas	60
4.3.6.1.	Custos com aquisição de matérias-primas.....	60
4.3.6.2.	Custos com transporte das matérias-primas	61
4.3.6.3.	Custos totais das matérias-primas	63
4.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	64

5. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICE A – MODELO COMPUTACIONAL.....	72

1. INTRODUÇÃO

Desde sua constituição, muitos empreendimentos sofrem os efeitos imediatos da ausência de um planejamento adequado ao seu funcionamento no longo prazo. Por esse motivo, grande parte dos negócios que germinam de uma boa idéia acabam por ter vida curta e ainda causam conseqüências desastrosas na vida financeira dos empreendedores, pelo simples fato de que os mesmos não projetaram adequadamente os passos rumo ao crescimento econômico sustentável do negócio ao qual se propuseram.

A origem do tema reflete a experiência deste acadêmico na atuação em empresas ligadas à área de prestação de serviços de engenharia, de pequeno ou médio porte; e que, por uma questão de ausência de amparo mais técnico em suas áreas administrativas, deixaram de contar com importantes instrumentos de gestão, como orçamento operacional, gestão de custos, *balanced scorecard*, gestão da qualidade, entre outros, tendo ficado à mercê de profissionais que, quando qualificados, não encontraram condições de realizar um trabalho que permitisse mudança na estrutura organizacional dessas empresas.

O cenário vigente na conjuntura econômica atual propicia aos empreendedores, em especial aos gestores de negócios, a oportunidade de simular estratégias que possibilitem reduzir caminhos ao contornar dificuldades e obstáculos encontrados na trajetória de seus negócios.

Uma vez que as forças de agentes externos próximos, como os fornecedores de uma empresa, se sobrepõem às suas forças internas, transferindo responsabilidades ou meramente repassando custos, a motivação pela constante revisão da situação da empresa perante esse cenário deve ser aumentada, de modo a permitir aos seus administradores antecipar medidas ou decisões que possibilitem absorver, se não superar, esses impactos.

Em função desse quadro, quando uma empresa se depara com a oportunidade de galgar um passo importante em sua trajetória, qual seja, empreender no sentido vertical de sua cadeia de suprimentos, buscando se defender de custos transferidos de terceiros, mas ao mesmo tempo vislumbrando um novo mercado, gerado por um excedente de produção a partir da implementação de uma nova unidade de negócio, surge a necessidade de se formularem inúmeros

cenários, a fim de prospectar elementos que baseiem a tomada de decisões nesse sentido, formando o escopo do planejamento estratégico da empresa.

O presente trabalho tem por finalidade a apreciação dos custos de produção sob a ótica da Pesquisa Operacional em uma empresa de pequeno porte atuante na área de serviços de pavimentação asfáltica na região da Grande Porto Alegre.

O estudo tem início na descrição da empresa e a caracterização do negócio.

A seguir, faz-se a contextualização do trabalho no ambiente da pavimentação asfáltica, para então chegar à definição do problema. Mais adiante, são apresentados a justificativa e os objetivos desejados. A revisão teórica apresentada buscou elementos de planejamento estratégico, planejamento financeiro, controladoria, estatística e logística, e foi baseada nos pontos de interesse em que a temática abordada está relacionada. Fundamentalmente, a metodologia aplicada foi a metodologia da Pesquisa Operacional, pela natureza do objeto estudado.

Foram analisados os resultados mediante a comparação de três cenários representando as simulações propostas.

Ao final, são apresentadas a análise das informações levantadas e as conclusões.

1.1.A EMPRESA

A BRASFALTO Pavimentação Ltda. tem sua sede no município de Sapucaia do Sul (RS), e foi constituída em 1998. Atua como prestadora de serviços de engenharia na área de pavimentação asfáltica, para isso contando com usina própria de produção de concreto asfáltico (CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente).

A empresa tem como foco principal a realização de serviços de pavimentação de vias públicas e áreas de arruamento interno de indústrias e pátios de estacionamento, com sua clientela distribuída na região metropolitana de Porto Alegre e adjacências.

Desde sua fundação, a empresa sempre contou com uma boa carteira de clientes, em sua maioria cativos à pessoa de seu empreendedor, o Eng. Civil Miguel Angelo Taffarel, responsável técnico direto pelos serviços da empresa.

Nos primeiros anos de sua constituição, foram muitas as dificuldades encontradas, até a conquista de um lugar no restrito setor de pavimentação gaúcho. Setor esse caracterizado pela presença de um pequeno número de concorrentes, entre grande e médio porte, onde os requisitos determinantes de atuação se dão por altos investimentos em instalações e equipamentos rodoviários pesados, como usina de asfalto, rolos compactadores, acabadoras, retro-escavadeiras, entre outros.

Nos últimos 5 anos, vem aumentando sua presença em obras públicas, predominantemente em municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre e arredores, não dispendo ainda de estrutura para atender obras rodoviárias de grande porte como construção de rodovias federais.

Em termos de mercado, a empresa representa uma parcela muito reduzida quando comparada aos integrantes de sua cadeia de suprimentos de matérias-primas, representados pelas distribuidoras de asfalto, depósitos de areia, e um número limitado de pedreiras, que abastecem todo o mercado da construção civil da região, além de fornecedores de combustíveis e derivados, entre outros.

A união dos fatores até aqui expostos, ou seja; altos investimentos em instalações e equipamentos, um baixo poder de barganha relacionado a fornecedores e clientes, ausência de controle dos preços de insumos e matérias-primas básicas, bem como as restrições de crédito impostas pelo setor financeiro; são determinantes para que a empresa disponha do mais alto grau de performance em sua gestão administrativa e operacional, colocando à prova todos os meios conhecidos para que obtenha o melhor desempenho possível na dinâmica do mercado no qual está inserida.

1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A indústria da construção no Brasil está intimamente ligada ao nível de atividade geral da economia nacional. Seu desempenho está diretamente relacionado ao nível de renda e volume de crédito disponibilizado no mercado. Tradicionalmente representa um importante alavancador para o desenvolvimento econômico, em que pese o efeito multiplicador sobre os investimentos e o processo produtivo.

De forma geral, o setor da construção apresenta uma grande homogeneidade entre as empresas que o formam, seja relativo ao seu tamanho ou sua capacidade tecnológica.

Em particular, o setor da construção pesada, caracterizado por apresentar maiores capacitação tecnológica e tamanho médio das empresas, nas quais se verifica um alto grau de especialização e uma diversificação interna bem acentuada. O setor está representado por empresas de construção de estradas, terraplenagem e obras de saneamento, bem como construção de obras de arte em engenharia (pontes, viadutos e afins).

Historicamente, o Estado tem grande participação na demanda deste subsetor, dado que é responsável por boa parte das obras de infra-estrutura básica, demandando recursos.

Num meio competitivo, é importante estar sempre atento à dinâmica das modificações impostas ao mercado, seja pela estrutura de custos ou melhora de performance de produtividade, a gestão eficiente dos custos pode contribuir em muito na melhoria dos resultados operacionais.

No presente trabalho, foi proposto o uso da Pesquisa Operacional como forma de estabelecer uma ferramenta de construção de cenários a ser utilizada pelos gestores da empresa para servir de base na estimação dos custos de produção de concreto asfáltico na usina da empresa estudada.

1.3. JUSTIFICATIVA

A proposta do presente estudo se baseou em buscar um modelo de programação linear que possibilitasse uma ampla análise das possibilidades de produção de concreto dados os recursos disponíveis e as determinações de mistura relevantes em pavimentação asfáltica.

Pela análise das atividades desenvolvidas, fica evidente a forte contribuição que o Estudo de Pesquisa Operacional pode oferecer ao negócio, por sua flexibilidade e dinâmica de operações.

Por isso a relevante contribuição do trabalho é no sentido de poder identificar e sugerir ações que venham a suprir eventuais demandas operacionais ou estratégicas da empresa sob uma perspectiva de otimização matemática.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Geral

Encontrar, à luz da Pesquisa Operacional, a configuração de operações que minimizam os custos variáveis de produção do concreto asfáltico produzido na usina, permitindo que a empresa possa contar com maior flexibilidade na fase de elaboração da peça orçamentária, subsidiando os administradores da empresa com informações que possam contribuir com melhor desempenho logístico e operacional na realização de seus projetos.

1.4.2. Específicos

Como objetivos específicos do presente trabalho, encontram-se:

- a) apresentar as vantagens de utilização das técnicas de pesquisa operacional e/ou estatísticas na modelagem de situações cotidianas da empresa;
- b) Chegar à formulação de um modelo matemático visando a otimização dos parâmetros utilizados pela empresa na configuração de seus custos;
- c) Identificar e sugerir fatores que apresentem influência direta ou indireta nos custos de produção;
- d) Identificar e sugerir alternativas à configuração do negócio da empresa, pela simulação de custos obtidos no processo de fabricação de asfalto.

2. REVISÃO TEÓRICA

A fim de estabelecer a compreensão acerca do tema proposto, faz-se necessária a apresentação dos pressupostos básicos que o cercam. Inúmeras perspectivas merecem destaque no campo teórico, as quais as principais delas aqui serão abordadas.

2.1. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

Para ROSS, WESTERFELD & JORDAN (2000), o administrador financeiro de uma sociedade toma decisões em nome dos acionistas, e em vista disso, tem-se que o objetivo da administração financeira é maximizar o valor corrente de cada ação da empresa, ou, em outras palavras, maximizar o valor de mercado do capital dos proprietários.

Para ZDANOWICZ (2003); planejar está entre as necessidades intrínsecas da empresa, sendo que a falta de planejamento levará ao enfraquecimento da empresa em seu dia-a-dia. A compreensão dos objetivos de uma organização passa necessariamente pelo seu planejamento estratégico, no qual o desenvolvimento e a manutenção do equilíbrio entre os objetivos, habilidades e recursos e suas oportunidades no mercado são determinados pelo seu planejamento estratégico. Além disso, a criação de valor para os acionistas é obtida pela estratégia de uma empresa.

Toda organização precisa ter e seguir um modelo de planejamento, que, segundo ZDANOWICZ (2003), se constitui de determinadas informações úteis e práticas para exercer o gerenciamento empresarial, considerando as variáveis econômicas e as relações matemáticas do mercado.

Hoje não mais se questiona a relevância em dispor-se de um eficiente sistema de planejamento financeiro. Isso já é consenso para a grande maioria das empresas. Entretanto, o planejamento financeiro deve apoiar-se em conceitos claros, corretos e seguros, constituindo-se no principal instrumento de administração para a tomada de decisão. Para ZDANOWICZ (2003), o que se pode fazer é tornar a

tarefa de planejar mais sistematizada, eficaz e rentável, bem como ter tempo para administrar as exceções de mercado que surgirão no futuro.

O estabelecimento das ações a serem executadas, dos recursos a serem consumidos, bem como as atribuições de responsabilidades, deverão estar previstas para um período futuro determinado, para que sejam alcançados os objetivos fixados mais satisfatoriamente. Desta forma, o sistema de planejamento é condição básica para a empresa acompanhar as mudanças mercadológicas e tecnológicas, mantendo-se atualizada para praticar com qualidade as atividades operacionais no futuro.

Todavia, para que o planejamento seja completo e uniforme, ZDANOWICZ (2003) salienta que deverá haver a projeção de todas as atividades operacionais da empresa, podendo isto ser realizado por meio de estudo de cada etapa, tomando por base informações e dados de experiências passadas, constituindo-se em ferramenta de orientação para o futuro. Para ZDANOWICZ (2003), *“a eficiência do sistema depende diretamente da direção, que deverá definir os objetivos e as metas de atuação da empresa”*.

2.2. CONTROLADORIA

A idéia de controle dentro das empresas está presente desde o início do século passado sob a forma de controladoria. Suas funções foram originadas a partir da verticalização das estruturas organizacionais, da diversificação das atividades e da sua expansão, segundo SCHMIDT (2002). Também de acordo com o autor, a controladoria não encontra conceituação clara na bibliografia então escrita, centrando as teorias na relação entre o papel do *controller* e as aptidões exigidas para a função. WILLSON, ROEHL-ANDERSON e BRAGG (1999) definem algumas funções para o *controller*, sendo elas as seguintes:

- a) Desenvolver e manter um plano integrado de operações, para possibilitar a quantificação e observação das origens e circunstâncias dos resultados, requerendo que todas as áreas da empresa integrem o planejamento envolvido.

- b) Medir e corrigir o desempenho da empresa de forma a garantir a execução do planejamento. O *controller* deve ser responsável por apontar distorções da maneira mais rápida possível por meio de acompanhamento e formulação de relatórios. Também o mapeamento do fluxo dos sistemas existentes na empresa, examinando resultados oriundos do controle estabelecido faz parte da função de controle. O *controller* deve manter sempre em mente que seu maior compromisso está ligado aos próximos passos da empresa, de acordo com o planejamento.

- c) Função informação. O desempenho correto e tempestivo da informação é tão fundamental quanto planejar e controlar. Limitar-se à interpretação de dados e elaboração de relatórios e gráficos é um grande erro diante das exigências do planejamento. A dificuldade está justamente em garantir o correto entendimento do que está disponibilizado para a empresa, pois exige muita discussão entre as áreas envolvidas e também uma estrutura de treinamento que vise o discernimento quanto às informações realmente relevantes para a organização.

- d) Função contábil. A realização das movimentações financeiras é outra função do *controller*, de modo que os princípios e práticas contábeis sejam respeitados e corretamente empregados em benefício da empresa. O profissional de controladora deve, portanto, manter-se atualizado nos sistemas e práticas contábeis, pois deles dependem o fornecimento das informações gerenciais

2.3. ESTATÍSTICA APLICADA

Por KAZMIER (1982), a estatística aplicada refere-se às técnicas pelas quais os dados de natureza quantitativa são coletados, organizados, apresentados e analisados. O ponto central da análise estatística moderna é a tomada de decisões sob condições de incerteza.

2.3.1. Estatística descritiva

A estatística descritiva inclui as técnicas que dizem respeito à sintetização e à descrição de dados numéricos. Tais métodos podem tanto ser gráficos como envolver análise computacional.

2.3.2. Estatística inferencial

A estatística inferencial compreende as técnicas por meio das quais são tomadas decisões sobre uma população estatística, decisões estas baseadas unicamente na observação de uma amostra ou na elaboração de um juízo. Devido ao fato de que tais decisões são tomadas em condições de incerteza, requer-se, na estatística inferencial, o uso de conceitos de probabilidade. Enquanto as medidas características de uma amostra se denominam características da amostra, as medidas características de uma população estatística, ou universo, se denominam parâmetros da população. O processo utilizado para medir as características de todos os membros de uma dada população recebe o nome de censo.

2.3.3. Probabilidades

Historicamente, três diferentes abordagens foram desenvolvidas para definir probabilidade e para determinar seus valores: o enfoque clássico, o da frequência relativa e o subjetivo.

- **Enfoque Clássico** – É baseado na pressuposição de que todos os resultados são igualmente verossímeis. Uma vez que esta abordagem

permite a determinação dos valores da probabilidade antes de ser observada qualquer amostra de eventos, é também denominada enfoque “*a priori*”.

- **Freqüência Relativa** – A probabilidade é determinada com base na proporção de vezes que ocorre um resultado favorável em um determinado número de observações ou experimentos. Não existe suposição prévia de iguais verossimilhanças ou eqüiprobabilidades. Uma vez que a determinação dos valores da probabilidade está baseada na observação e na coleta de dados, este enfoque é também chamado de enfoque empírico.
- **Enfoque Subjetivo** – Também chamado de enfoque personalístico. É particularmente apropriado quando existe apenas uma única oportunidade para o evento ocorrer, e ele ou ocorrerá ou não ocorrerá naquela única vez. A probabilidade de um evento é o grau de crença de um indivíduo de que o evento irá ocorrer, baseado em toda evidência a ele disponível. Está ligado à análise *bayesiana* de decisão.

2.3.4. Análise de regressão linear

O objetivo principal da análise de regressão é prever o valor de uma variável (variável dependente), dado que seja conhecido o valor de uma ou mais variáveis associadas (variáveis independentes), com o objetivo de estimar ou prever a média da população ou valor médio da variável dependente em termos dos valores conhecidos ou fixos das explicativas. A equação de regressão é a forma algébrica pela qual se determina o valor previsto da variável dependente. As hipóteses gerais subjacentes ao modelo de regressão são que (1) a variável dependente é aleatória. (2) as variáveis independentes e dependente estão associadas linearmente; e (3) as variâncias das distribuições condicionais da variável dependente, dados diferentes valores da variável independente, são todas iguais. Ainda, para utilizar-se da

estimação por intervalo, é necessária a hipótese adicional de que as distribuições condicionais da variável resposta dados diferentes valores da(s) variável(eis) explicativa(s) sejam todas distribuições normais para os valores da população.

2.3.5. Correlação linear

Está intimamente associada à regressão linear, porém conceitualmente muito diferente. O coeficiente de correlação tem como objetivo básico medir a intensidade ou o grau de associação linear entre duas variáveis. Na análise de regressão, não há o interesse em medir tal relação, mas sim estimar o valor médio com base nos valores fixados (independentes).

2.3.6. Análise *Bayesiana*

A análise *Bayesiana* e a Teoria da Decisão fornecem visões unificadas da Estatística, e torna-se bastante natural pensar nas duas em conjunto. No entanto, grande parte das respectivas teorias desenvolveu-se em separado. Os elementos da Teoria da Decisão são muito semelhantes aos da teoria matemática dos jogos, desenvolvida por Von Neumann e Morgenstern (1944), mas, para finalidades estatísticas, um dos jogadores é a própria natureza, que age por meio de uma experiência aleatória.

Do ponto de vista da teoria da decisão estatística, uma situação de decisão sob condições de incerteza pode ser representada por certos elementos comuns que estão incluídos na estrutura da tabela de decisão, ou tabela de retornos (*payoffs*), para a dada situação, que essencialmente identifica o ganho (ou perda) condicional associado com cada possível combinação de atos de decisão e eventos; ela também indica, geralmente, a probabilidade de ocorrência para cada um dos eventos mutuamente exclusivos.

2.4. DESEMPENHO LOGÍSTICO

2.4.1. Logística enxuta

Como definem BOWERSOX, CLOSS e COOPER (2006), é a habilidade superior de “projetar e administrar sistemas para controlar a movimentação e a localização geográfica de matérias-primas, trabalhos em processo e inventários de produtos acabados ao menor custo total”.

Alcançar o menor custo total significa que ativos financeiros e humanos comprometidos com a logística precisam ser mantidos em um mínimo absoluto. Também é necessário que se mantenham as despesas operacionais diretas tão reduzidas quanto possível. A combinação entre recursos, habilidades e sistemas exigidos para alcançar a logística enxuta são difíceis de integrar, mas uma vez obtido, fica mais difícil para os competidores replicarem essa competência integrada.

2.4.2. Objetivos do desempenho logístico

Sistemas eficientes de avaliação precisam ser construídos para que sejam alcançados os objetivos de monitoramento, controle e direcionamento das operações logísticas:

O monitoramento é realizado a partir do estabelecimento de métricas apropriadas, a fim de que se acompanhe o desempenho do sistema para relatar à gerência. O controle é realizado quando se tem padrões apropriados de desempenho relativos às métricas estabelecidas, para indicar quando o sistema logístico exige modificação ou atenção. O direcionamento está relacionado à motivação dos funcionários e às recompensas pelo desempenho.

2.4.3. Avaliação do desempenho logístico

Um sistema para avaliação do desempenho logístico exige, antes de mais nada, uma perspectiva funcional. Além do desempenho funcional básico, os métodos melhorados de avaliação do atendimento dos serviços aos clientes estão recebendo maior atenção em muitas empresas. A avaliação do desempenho da logística integrada na cadeia de suprimentos coloca um desafio fundamental para a gestão contemporânea.

Para BOWERSOX, CLOSS e COOPER (2006), as perspectivas funcionais de desempenho logístico podem ser classificadas em cinco categorias, a saber:

- **Custos.** Normalmente avaliado em função do total de dinheiro gasto em cada função. Também podem ser representados na forma percentual em relação às vendas ou como um custo por unidade de volume;
- **Serviços ao Cliente.** São medidas de disponibilidade, desempenho operacional e confiabilidade dos serviços;
- **Qualidade.** A qualidade global do desempenho pode ser avaliada de várias maneiras. Medidas comuns incluem frequência de danos, precisão de entrada de pedidos, da expedição, da documentação e faturamento, disponibilidade de informação, reclamações e devoluções de clientes, etc;
- **Produtividade.** É uma relação, normalmente uma razão ou índice, entre a saída de produtos, os trabalhos realizados e/ou serviços produzidos e quantidades de insumos ou recursos utilizados para produzir determinado produto ou serviço;
- **Gestão de Ativos.** As instalações logísticas, equipamentos e inventários representam uma parcela substancial dos ativos de uma empresa. A gestão de ativos focaliza a utilização de investimentos de capital nas instalações e equipamentos, bem como o capital de giro investido em inventários.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em conjunto com a revisão teórica apresentada e no intuito de alcançar os objetivos propostos neste estudo, a metodologia utilizada para implementação do modelo de programação linear foi a metodologia da pesquisa operacional.

3.1. PESQUISA OPERACIONAL

Pesquisa Operacional (PO) é um método científico de tomada de decisão. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e, através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema. Da forma com conhecemos hoje, ganhou força durante a Segunda Grande Guerra Mundial, resultado de estudos realizados por equipes cientistas contratados para resolver problemas militares de ordem estratégica e tática. A característica da interdisciplinaridade de conhecimentos da matemática, da estatística, da administração e da informática garante os elementos teóricos para uma boa análise e resolução e problemas de otimização em geral.

A natureza da Pesquisa Operacional consiste na construção de um modelo para um sistema real baseado na compreensão do comportamento desse sistema, com o objetivo de apresentar e simular o desempenho do mesmo. No entanto as variáveis do mundo real podem assumir um conjunto tão complexo, que a construção de modelos requer uma simplificação matemática, pela redução do número de variáveis que ainda mantém as características básicas do sistema real. A figura 1 representa essa simplificação.

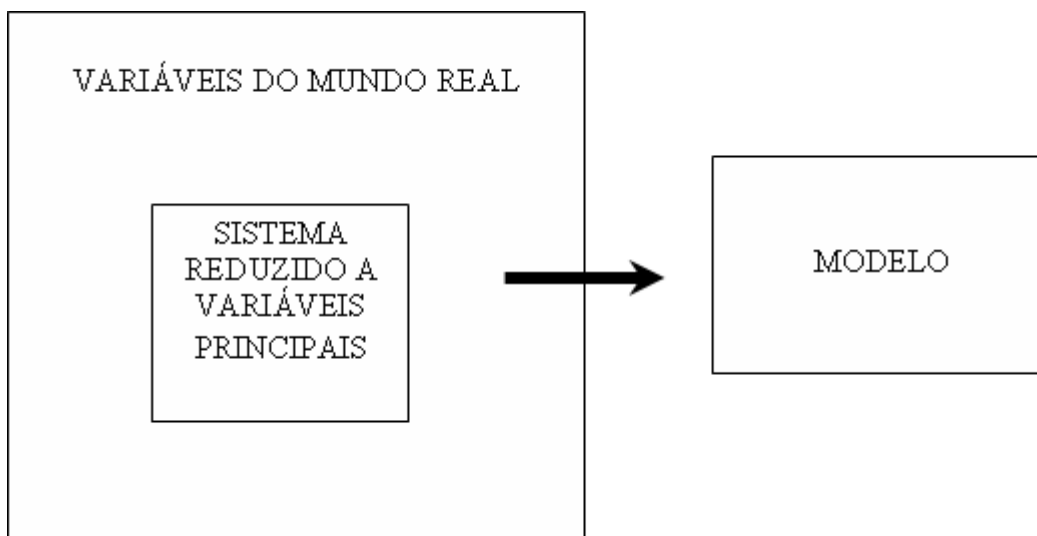


Figura 1 – Representação simplificada do processo de modelagem

Segundo SILVA (1995), um estudo em pesquisa operacional costuma envolver seis fases:

3.1.1. Formulação do problema

Os envolvidos com o estudo deverão discutir o problema, no sentido de encontrar uma maneira clara e coerente de representá-lo, definindo os objetivos a alcançar, as limitações técnicas, as relações do sistema com outros, sejam eles internos ou externos à empresa. Deverá ainda ser estabelecida uma medida de eficiência para o sistema, permitindo ao administrador ordenar as soluções encontradas, o que conclui o processo decisório.

3.1.2. Construção do modelo do sistema

Os modelos que interessam em Pesquisa Operacional são os modelos matemáticos, formados por um conjunto de equações e inequações. A primeira das equações do conjunto servirá para medir a eficiência do sistema para cada solução

proposta. É a função objetivo ou função de eficiência. As demais equações geralmente descrevem as limitações ou restrições técnicas envolvidas. As equações e inequações do sistema são compostas por dois tipos de variáveis:

3.1.2.1. Variáveis controladas ou de decisão

Seu valor está sob controle do administrador. A decisão, nesse caso, é atribuir um particular valor a cada uma dessas variáveis. A definição da função objetivo é a expressão matemática das relações e operações que devem ser consideradas para a grandeza a ser otimizada (custo, receita, lucro).

3.1.2.2. Variáveis não controladas

São os valores impostos por sistemas fora do controle do administrador. Custos de produção, demanda de produtos, preços de matérias-primas e insumos, taxas de juros; são variáveis não controladas. Seus parâmetros estão envolvidos diretamente na determinação das restrições do sistema.

3.1.3. Cálculo da solução do modelo

É realizado por meio de técnicas matemáticas específicas. A construção do modelo deve levar em consideração a disponibilidade de uma técnica para o cálculo da solução.

3.1.4. Teste da solução do modelo

É realizado com dados empíricos do sistema. A existência de dados históricos facilita a aplicação do modelo, gerando um desempenho que pode ser comparado ao funcionamento do modelo quando da simulação da realidade. A proximidade dos valores reais é requerida para a aprovação do modelo, caso contrário, ele deverá ser redesenhado ou abandonado. Caso não estejam disponíveis dados históricos, dados empíricos serão anotados com o sistema funcionando sem interferência, até que se possa realizar novos testes com o modelo.

3.1.5. Estabelecimento de controles da solução

A construção e experimentação com o modelo identificam parâmetros fundamentais para solução do problema. Toda e qualquer mudança nesses parâmetros deverá ser controlada para garantir a validade da solução adotada. Cada alteração nos parâmetros além dos desvios permitidos incorrerá em cálculo de nova solução ou mesmo em reformulação do modelo.

3.1.6. Implantação e acompanhamento

Nessa fase, a solução será apresentada ao administrador, e o modelo será colocado em prática com o acompanhamento direto para se observar o funcionamento da solução adotada.

4. CONSTRUÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO

A técnica de produção de massa asfáltica é muito simples em sua essência, uma vez dispondo dos recursos necessários para tal. Para tanto, a empresa dispõe de usina própria, equipada com todos os elementos necessários ao armazenamento e ao processamento das matérias-primas envolvidas no processo, tendo passado, nos últimos anos, por diversas reformas e implementações tecnológicas, que possibilitaram a ampliação da capacidade de produção de 30 para 60 toneladas/hora.

Os fatores relevantes residem justamente no custeio dos insumos pertinentes, representados pelo cimento asfáltico de petróleo, os agregados minerais (pedra britada e areia) e fretes, além de óleo combustível e energia elétrica. Senão vejamos.

4.1.1. Pavimentação asfáltica

A pavimentação asfáltica consiste na aplicação, sobre a base preparada do terreno terraplenado, do revestimento flexível denominado concreto asfáltico, com o propósito de aumentar a sua resistência e favorecer a circulação de pessoas ou veículos. Mais amplamente, a atividade de pavimentação compreende o uso de qualquer revestimento sobre o terreno natural ou terraplenado.

4.1.2. Operações de britagem

De forma simplificada, explorar uma pedreira se constitui basicamente em explodir a rocha de modo a obter, por meio do processo de britagem, um agregado

que seja utilizável na fabricação de concreto e em base de pavimentos. O processo de produção nas pedreiras pode afetar significativamente sua qualidade, principalmente pela eliminação das camadas mais fracas da rocha e pelo efeito da britagem na forma de partícula e na graduação dos agregados.

A figura 2 mostra um esquema simples de uma unidade de britagem.

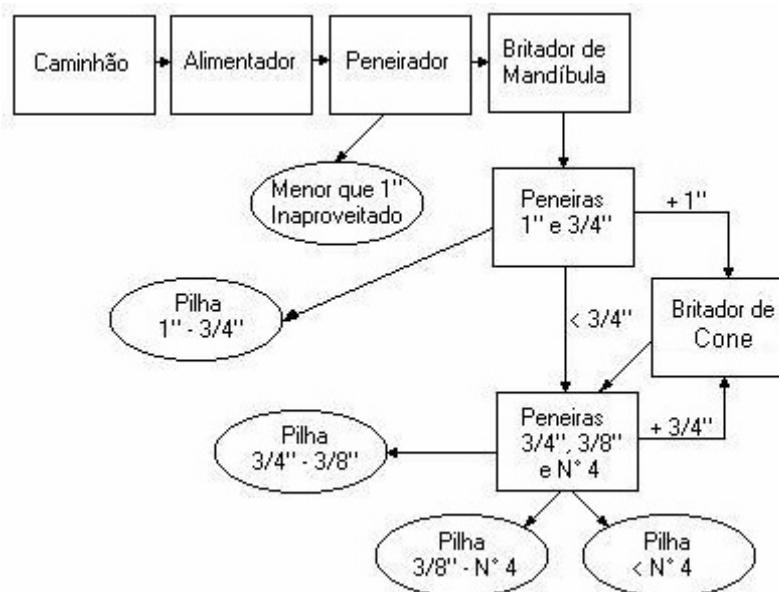


Figura 2 – Esquema simplificado do processo de britagem

Fonte: (ROBERTS et al, 1996), extraído de BERNUCCI et al (2006)

Após o desmonte da rocha, ela é enviada ao britador, utilizando-se caminhões, onde é depositada no alimentador primário, iniciando-se o processo em sua fase primária. O britador primário (do tipo mandíbula), apresentado em detalhe na figura 3, fragmenta a rocha bruta em tamanhos menores, de modo a ser trabalhada em outros britadores. Em seguida, a pedra é selecionada em diversos tamanhos por peneiramento e transportada a um ou mais britadores secundários (figura 4). A pedra de tamanho entre 19 e 25 mm é estocada. A pedra maior que 25 mm é levada ao britador de cone. Daí segue novo peneiramento, quando o material maior que 19 mm é rebitado, levando os demais a um segundo *deck* de peneiras, onde se obtém três pilhas de estoque nos tamanhos abaixo de 19 mm, abaixo de 9,5 mm e abaixo de 4,8 mm (peneiras 3/4", 3/8", e 1/8" respectivamente).

É bom ressaltar que a grande maioria dos processos de britagem são bem mais complexos do que este aqui representado, porém, todas as instalações e

operações se utilizam de britadores, correias transportadoras e peneiras, conforme a figura 5, que mostra a vista geral de uma unidade de britagem.



Figura 3 – Britagem primária



Figura 4 – Britagem secundária



Figura 5 – Vista de uma instalação de britagem

4.1.3. Agregado mineral

Segundo BERNUCC (2006), a norma ABNT NBR 9935/2005, define o termo agregado como *material granular sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para a produção de argamassas e de concreto*. As características físicas dos agregados como resistência, abrasão e dureza são determinadas pela rocha de origem.

A exploração desses materiais na fonte (jazida ou pedreira) dependerá de sua disponibilidade, qualidade e custo de extração e transporte, bem como do tipo de aplicação. Os agregados podem ser classificados sob diversos aspectos. A seguir são apresentadas as principais classificações.

4.1.3.1. Classificação quanto à origem

Os agregados podem ser de origem natural ou artificial. São entendidos como naturais aqueles que forem extraídos em sua forma fragmentar original, sendo exemplos comuns a areia e o cascalho. Agregados artificiais são extraídos em blocos maiores, como a rocha explodida, necessitando passar pelo processo de britagem, como a brita e a areia britada ou industrial.

4.1.3.2. Classificação quanto à densidade das partículas

Considerando a densidade, os agregados são classificados em:

- Leves (pedra-pomes, vermiculitas,...)
- Normais (brita, areia, cascalho,...)
- Pesados (barita, magnetita,...)

4.1.3.3. Classificação quanto à forma das partículas

A forma das partículas pode ser caracterizada segundo a norma ABNT NBR 6954/1989, que avalia as pedras em 3 dimensões: a) comprimento, b) largura, c) espessura. A classificação quanto à forma provém das relações entre essas dimensões, podendo ser: cúbica, alongada, lamelar e alongada-lamelar.

A forma das partículas é caracterizada pelo índice de forma (f), conforme descrito no método DNER-ME 086/94. Esse índice varia de 0 a 1. As figuras 6 e 7 mostram as formas de apresentação das britas. Formas angulares (fig. 6) e superfícies rugosas facilitam a aderência do cimento. Porém, Na fabricação de concreto asfáltico, é desejável que o índice de forma seja o mais próximo quanto possível de 1, revelando maior cubicidade (fig. 7) e de superfícies lisas, que reduzem a porosidade entre os grãos e facilitam a fluidez do concreto.



Figura 6 – Agregado de forma lamelar



Figura 7 – Agregado de forma cúbica

4.1.3.4. Determinação das características mecânicas

As propriedades físicas e mecânicas avaliadas no quesito qualidade são: a resistência, a porosidade e a densidade. As propriedades químicas têm pequeno

efeito em seu desempenho, exceto quando afetam a adesividade do ligante asfáltico ao agregado.

Diversos são os métodos utilizados para determinação das características mecânicas dos agregados. A tabela 1 mostra seus valores limites de aceitação.

Tabela 1 – Métodos de determinação das características mecânicas dos agregados

Norma DNER-ME	Método de Ensaio	Valores Limite Tentativa
35/94	Agregado – determinação da abrasão Los Angeles	LA \leq 65%
399/99	Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton	T \leq 60%
96/98	Agregado graúdo – avaliação de resistência mecânica pelo método dos 10% de finos	10% finos \geq 60kN
401/99	Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – ID _{ML} e sem ligante ID _M	ID _{ML} com ligante \leq 5
		ID _M com ligante \leq 8
398/99	Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor – IDP	IDP \leq 6
397/99	Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW	IDW \geq 30
197/97, ou NBR 9938	Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos	E \geq 60

4.1.3.5. Classificação quanto ao tamanho dos fragmentos

Segundo o DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, a norma ABNT NBR 7211 classifica os agregados quanto ao tamanho dos fragmentos, da seguinte forma:

- Agregados Miúdos – com diâmetro mínimo de 0,075 mm e máximo de 4,8 mm (exemplo: Areia e Pó de Brita)
- Graúdos – com diâmetro mínimo de 4,8 mm e máximo de 152 mm (exemplo: Cascalho e Brita)

Os tamanhos de britas são classificados de acordo com seu diâmetro médio, como:

- Nº 1 – de 4,8 a 12,5 mm
- Nº 2 – de 12,5 a 25 mm
- Nº 3 – de 25 a 50 mm
- Nº 4 – de 50 a 76 mm
- Nº 5 – de 76 a 100 mm

Comercialmente, são utilizadas as seguintes dimensões de britas:

- Pó de Pedra – com diâmetro abaixo de 4,8 mm (1/8”);
- Brita-0 ou Pedrisco – com diâmetro entre 4,8 mm e 9,5 mm (3/8”);
- Brita-1 – com diâmetro entre 9,5 mm e 19 mm (3/4”)

4.1.4. Usinas de Asfalto

Uma usina de concreto asfáltico (fig. 8) é o local apropriado para a fabricação do concreto asfáltico a quente, devendo ser capaz de classificar e dosar os agregados, produzir misturas uniformes, devendo ainda estar dotadas de instrumento de medição e controle de temperatura. Os componentes principais de uma usina de asfalto são:

- silos dosadores de agregados;
- secador de material (fluxo ou contra-fluxo);
- queimador;
- misturador externo rotativo;
- reciclador a quente;
- elevador de asfalto Drag Mixer;
- filtro de Mangas;
- tancagem;
- silos de Massa;
- cabine de comando;
- equipamentos de automação.



Figura 8 – Usina de Asfalto típica

Para armazenagem do material betuminoso, a usina de asfalto deve dispor de tancagem dotada de serpentina de aquecimento.

Para classificação e dosagem dos agregados, são utilizados silos.

O concreto asfáltico é transportado para as obras por meio de caminhões basculantes providos de lona de cobertura.

A mistura é espalhada e conformada no trecho requerido em projeto fazendo-se uso de vibro - acabadoras de asfalto (fig. 9)



Figura 9 – Acabadora de asfalto

Para a compressão da massa asfáltica, são utilizados rolos compactadores lisos (fig. 10) com carga entre 8 e 12 toneladas, e rolos pneumáticos (fig. 11) autopropelidos, com peso variando de 5 a 35 toneladas.



Figura 10 – Rolo de chapa



Figura 11 – Rolo de pneus

4.1.5. Concreto asfáltico

O concreto asfáltico, também conhecido como concreto betuminoso, consiste em uma mistura obtida em usina própria para o fim, mediante processamento a quente, de minerais graduados (areia e britas), e cimento asfáltico de petróleo. Origina-se daí a denominação CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

Consiste em uma mistura com controle rígido de dosagem, mistura e execução, devendo atender a exigências de estabilidade, flexibilidade, durabilidade e resistência ao deslizamento preconizado pelas Normas Construtivas.

O concreto asfáltico é empregado sob a forma de Camada de nivelamento, camada de ligação (designada *Binder*) e camada de desgaste ou rolamento, conforme mostrado na figura 12.

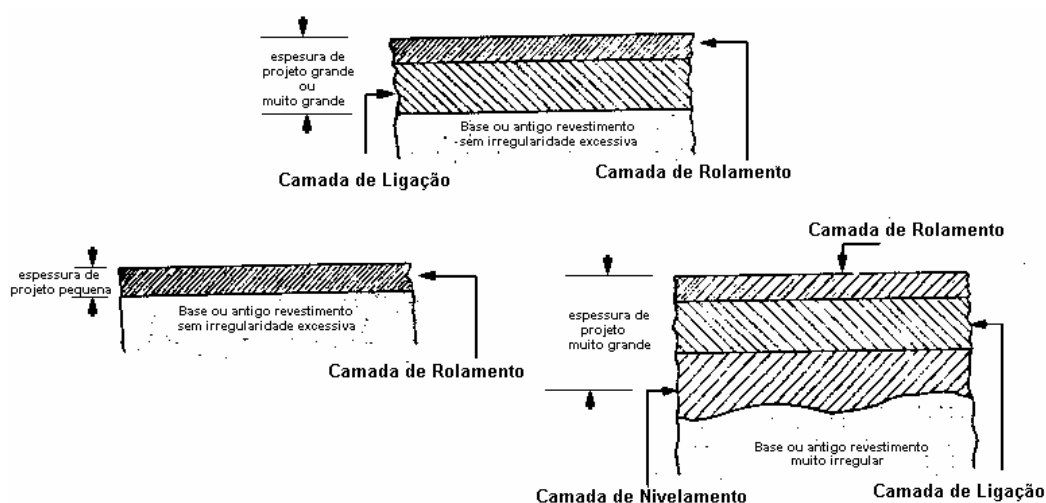


Figura 12 – Concreto asfáltico – camadas de rolamento

4.1.5.1. Composição do concreto asfáltico

De forma genérica, são empregados os seguintes materiais na composição de um concreto asfáltico:

- Material Betuminoso: CAP 30/45, 50/70, 85/100.

- Agregados Graúdos: Pedra Britada, escória britada, seixo rolado, britado ou não.
- Agregados Miúdos: Areia, Pó de Pedra, ou mistura de ambos.
- Fíler: Cimento *Portland*, cal, calcáreo, quando necessário, atendendo a uma determinada granulometria.

Os revestimentos asfálticos constituem um material composto formado por agregados de tamanhos variados unidos por um ligante betuminoso. O desempenho desse revestimento dependerá do entendimento de como a mistura reage mediante as condições predominantes no pavimento em que será aplicada.

A quantidade de agregado mineral em misturas asfálticas de pavimentação varia entre 90 e 95% do peso da mistura e de 70 a 85% de seu volume.

No Estado do Rio Grande do Sul, as Especificações Gerais do DAER/RS a seguir, estabelecem as normas e critérios de produção e aplicação do concreto asfáltico:

- DAER-ES-P 16/91 – Concreto Asfáltico;
- DAER-ES-P 22/91 – Materiais Asfálticos.

De acordo com a norma DAER-ES-P 16/91, a mistura de agregados deve estar de acordo com uma das granulometrias especificadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Quadro I das Especificações Gerais do DAER/RS

Quadro I									
Faixas Granulométricas para Concreto Asfáltico									
USO		A		B		C		D	
		Rolamento		Rolamento, Ligação ou Nivelamento		Nivelamento, Ligação ou Base		Ligação, Nivelamento ou Base	
Espessura após compactação (cm)		Mín. 2,5cm		Mín. 4,0cm		Mín. 5,0cm		6,0 – 10,0cm	
Peneira		% que passa (em peso)							
ASTM	(mm)								
1.1/2"	32,13							100	
1"	25,4					100		80	100
3/4"	19,1			100		80	100	70	90
1/2"	12,7	100		80	100	-		-	
3/8"	9,52	80	100	70	90	60	80	55	75
1/4"	6,73	-		-		-		-	
nº 4	4,76	55	75	50	70	48	65	45	62
nº 8	2,38	35	50	35	50	35	50	35	50
nº 16	1,19	-		-		-		-	
nº 30	0,59	18	29	18	29	19	30	19	30
nº 50	0,257	13	23	13	23	13	23	13	23
nº 100	0,249	8	16	8	16	7	15	7	15
nº 200	0,074	4	10	4	10	0	8	0	8

A norma permite ainda, em seu item 2.2.3, que a mistura granulométrica indicada no projeto, poderá apresentar as tolerâncias máximas representadas na tabela 3:

Tabela 3 – Tolerância admitida na faixa de projeto

Peneira	% passando (em peso)
Peneira n.º 4 ou maiores	± 6%
Peneira n.º 8 a n.º 50	± 4%
Peneira n.º 100	± 3%
Peneira n.º 200	± 2%

Segundo a mesma normativa, a mistura asfáltica deverá consistir em uma mistura uniforme de agregados e cimento asfáltico, de modo a satisfazer aos requisitos destacados abaixo:

- A mistura pode ser projetada pelo Método Marshall (da Resistência ao Fluxo Plástico das misturas betuminosas ASTM D-1559); pelo método do estabilômetro (Método de Ensaio DAER nº 304), ou por outro método estabelecido pelo projetista;
- As misturas não devem apresentar variações na granulometria maiores que as especificadas no projeto. O teor de cimento asfáltico, igualmente fornecido pelo projeto, poderá variar de até ± 0.3 pontos percentuais;
- Quando ensaiada pelo Método Marshall, ou pelo Estabilômetro, a mistura deverá satisfazer aos requisitos indicados no quadro IV das Especificações Gerais do DAER, transcrito conforme tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Quadro IV das Especificações do DAER/RS

Quadro IV				
Requisitos para Concreto Asfáltico				
Requisitos de Projeto	Tráfego Pesado		Tráfego Médio	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
I - MARSHALL				
1. nº de golpes em cada face do corpo de prova	75		50	
2. Estabilidade (kgf)	800	-	500	-
3. Fluência (1/100")	8	16	8	16
4. Vazios de ar (%)				
Camadas de Rolamento, Ligação e Nivelamento	3	5	3	5
Camadas de Base	3	8	3	8
5. Relação Betume-Vazios				
Camadas de Rolamento	75	82	75	82
Camadas de Ligação, Nivelamento e Base	65	72	65	72
6. Vazios de Agregado Mineral (%)	Fig. Anexa		Fig. Anexa	
7. Relação entre as % que passam nas peneiras nº 200 e nº 8	Fig. Anexa		Fig. Anexa	

II - ESTABILÔMETRO					
1.	Valor do Estabilômetro	37	-	35	-
2.	Susceptibilidade do Vapor de Água (Valor do Estabilômetro)				
	Método DAER n.º 307	30	-	25	-
3.	Inchamento (polegada)				
	Método DAER n.º 305	0,03	-	0,03	-

Como é possível perceber, esse é um aspecto técnico-construtivo que foge ao escopo deste trabalho, mas necessário no sentido de ilustrar as características que fundamentam a construção dos objetivos aqui propostos.

4.1.6. Composição de custos

A composição dos custos dos insumos é formada pelas matérias-primas CAP, areia e pedra britada (cimento asfáltico e agregados, respectivamente).

A começar pelo cimento asfáltico de petróleo. Sua produção é realizada exclusivamente pelas refinarias da Petrobrás (REFAP, no caso gaúcho), chegando ao mercado por meio de empresas distribuidoras. Os consumidores desse produto são: as próprias distribuidoras, que mantêm fábricas de emulsões asfálticas, as empresas pavimentadoras, além do DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, bem como os órgãos estaduais de controle, como é o caso do DAER/RS – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem.

A produção de asfalto nas refinarias está sujeita a cotas de produção, e em função de restrições de planta, muitas vezes não é capaz de suprir a demanda pelo produto, sujeitando seus consumidores a manter algum tipo de estoque de segurança em períodos de alta demanda, ou mesmo deslocando caminhões para trazer o produto de outras refinarias, o que implica maiores gastos com fretes.

No caso da pedra britada, o problema está mais diretamente associado às crescentes variações de preços praticados pelos fornecedores, representados por um pequeno número de ofertantes baseados na Região Metropolitana de Porto Alegre e adjacências. A tabela 5 representa a variação preços de brita praticados nos três últimos anos.

Tabela 5 – Variação dos preços médios de britas e areia no período de mai/06 a mai/09

Preços médios em M3, praticados no local de embarque				
Preços Médios	Pó de Brita	Pedrisco	Brita-1	Areia
Maio - 2006	17,45	17,95	16,00	15,00
Maio - 2007	21,20	23,25	20,50	23,31
Maio - 2008	26,90	28,45	24,45	28,50
Maio - 2009	33,00	38,06	29,47	37,25
Variação Acumulada	89%	112%	84%	148%

Fonte: empresa

Como é possível perceber, os aumentos de preços ocorridos no período estão bem acima de qualquer índice oficial de inflação.

Maior ainda é a variação acumulada dos preços da areia, cujos fornecedores estiveram sujeitos à forte fiscalização de ordem ambiental em suas regiões de atividade, foram forçados a reduzir substancialmente suas áreas de extração.

4.1.7. Incorporação de uma nova unidade de negócios

Frente a essa situação, e como alternativa aos crescentes custos verificados, principalmente com relação aos agregados, a iniciativa da empresa foi investir em uma unidade própria, no sentido de ver atendidas suas necessidades na produção de concreto asfáltico. Outro propósito a ser destacado, fica por conta da oportunidade de abrir-se um novo mercado consumidor, o que necessariamente implica dispor de um novo negócio, em razão de um excedente de oferta que a usina de asfalto sabidamente não tem condições de absorver.

Diante desse quadro, se incorpora um novo contexto a ser analisado pela administração da empresa: acompanhar uma nova estrutura de custos criada na nova unidade, fazendo-se necessário simular cenários nos quais a perspectiva será a ampliação do volume de vendas pela incorporação de uma nova carteira de clientes cuja demanda ainda é desconhecida.

A realidade verificada no presente momento é que a unidade de britagem ainda não conta com as condições ideais de produção para atender a integralidade da demanda prevista para os serviços de pavimentação (concreto asfáltico e brita depositada em obras). Por esse motivo, se faz necessária a implementação de um novo britador na linha de produção tanto para melhorar as propriedades mecânicas dos agregados, quanto para gerar volume suficiente que justifique os investimentos feitos até então.

4.2. COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi baseada principalmente nos relatórios internos da empresa, tendo como interesse maior as informações acerca dos estoques e da produção. Alguns pontos exigiram aprofundamento maior, como a determinação dos parâmetros técnicos da mistura asfáltica, e o estudo de documentos relativos às normas do DAER/RS, no tocante à compreensão dos fatores que determinam os teores permissíveis da mistura de agregados e ligantes asfálticos.

Para o desenvolvimento deste trabalho, por conseguinte, estiveram envolvidos os seguintes procedimentos metodológicos para a realização da coleta de dados:

- aprofundamento da pesquisa bibliográfica, baseado nos pontos que exigiram maior aprofundamento teórico;
- análise dos documentos e relatórios internos da empresa;
- tratamento estatístico acerca dos parâmetros técnicos de consumo dos insumos com taxa de consumo desconhecida ou de pouca confiabilidade;
- o levantamento estatístico proporcionou a confirmação e/ou melhoria de parâmetros de consumo não relacionados com a mistura asfáltica, que são obtidos diretamente por fórmula, mas sim daqueles representados pelos insumos da produção como óleos combustíveis e energia elétrica, bem como

os coeficientes de perda geradas no processo de produção, para os quais até então se trabalha sob o regime de estimativa;

- a elaboração de cenários caracterizando: a) as condições envolvidas na produção da usina de asfalto, refletindo a situação atual da empresa; b) a proposta de trabalho com unidade de britagem de baixa capacidade; e por último, c) a simulação da unidade de britagem com capacidade plena para atender às demandas por obras e serviços, bem como gerando excedente para comercialização.

4.2.1. Custos variáveis e teores de mistura

Os custos variáveis de produção do concreto asfáltico têm como base o Projeto de CBUQ definido para a faixa granulométrica da massa correspondente à especificação do DAER/RS citada na revisão teórica.

Com os dados em mãos, os coeficientes de consumo são levantados a partir dos parâmetros estabelecidos no projeto, para que se possa conhecer o quantitativo de matérias-primas requerido para a produção.

Como representação da realidade da empresa, as tabelas a seguir demonstram os custos variáveis de produção para duas faixas granulométricas de massa asfáltica, designadas de faixa – A e faixa – B, respectivamente:

A tabela a seguir apresenta as definições de três projetos de CBUQ, demonstrando os teores de mistura entre os agregados, atualmente utilizados:

Tabela 6 – Teor de mistura entre os agregados

Material	Projeto-1	Projeto-1a	Projeto-2
Tipo de massa	A	A	B
Areia	8,0%	8,0%	8,0%
Pó de Brita	46,0%	39,0%	39,0%
Brita-0	46,0%	53,0%	28,0%

Brita-1	0,0%	0,0%	25,0%
Total Agregados	100%	100%	100%
Teor de CAP	5,6%	5,6%	5,2%
Total Mistura	105.6%	105.6%	105.2%

Vale ressaltar que o teor de consumo dos agregados refere-se à mistura deles entre si, sendo que a mistura final é obtida pela adição do teor de CAP aos agregados já misturados. Por isso, as taxas de consumo das matérias-primas utilizadas para fins de estimação do quantitativo de material que será consumido são obtidas pela fórmula abaixo (figura 13), e a seguir representadas na tabela 7.

$$taxa_{consumo} = \frac{teor_{material}}{teor_{total}}$$

Figura 13 – Fórmula de determinação da taxa de consumo

Tabela 7 – Taxa de consumo dos insumos

Material	Projeto-1	Projeto-1a	Projeto-2
Tipo de massa	A	A	B
Areia	0,0758	0,0758	0,0760
Pó de Brita	0,4356	0,3693	0,3707
Brita-0	0,4356	0,5019	0,2662
Brita-1	0,0000	0,0000	0,2377
Total – Agregado	0,9470	0,9470	0,9506
CAP	0,0530	0,0530	0,0494
Total – Mistura	1	1	1

4.2.2. Custos unitários das matérias-primas

O levantamento dos custos unitários está descrito na tabela 8 abaixo, e considera a possibilidade de alternativas de fornecimento diferenciada, a fim de estabelecer critérios, além de já considerar os coeficientes de perda de material no processo produtivo, facilitando a elaboração do modelo por reduzir o número de variáveis de trabalho requeridas.

Tabela 8 – Preços unitários de aquisição das matérias-primas, por fornecedor

Material	Fornecedor-1	Fornecedor-2	Fornecedor-3
Areia	25,79	26,48	X
Pó de Brita	23,03	20,34	16,41
Brita-0	30,21	27,38	15,23
Brita-1	22,39	19,31	14,04
CAP	1086,75	1086,75	X

Conforme mostra na tabela 8, foram comparados três fornecedores de pedra britada, dois fornecedores para areia e dois fornecedores para cimento asfáltico.

Os preços unitários acima estão expressos em toneladas, considerando o princípio da equalização, que tornam mais simples o processo de comparativo entre os preços praticados pelos fornecedores.

Este é o caso especial da areia e pedra britada, que são praticados em metro cúbico no local de abastecimento (pedreira ou depósito). Por isso, em razão dos referidos materiais apresentarem propriedades físicas e mecânicas distintas (originados de diferentes tipos de rocha) o fator que desempenha papel decisivo é a densidade respectiva de cada material, que influenciará na conversão de metros cúbicos para toneladas, e, portanto, devendo ser considerado no cálculo.

4.2.3. Custos unitários de fretes

Para efeito de cálculo do frete, deve-se considerar as distâncias entre os pontos de abastecimento e a usina de asfalto, visto que a tarifa unitária de frete é diferenciada em razão da distância e da dificuldade do fornecimento, bem como poderá ser feita por caminhões próprios ou de terceiros. A tabela 9 mostra as distâncias rodoviárias e tarifas praticadas para cada situação.

Tabela 9 – Distâncias rodoviárias e tarifas de frete

Origem	Distância (km)	Tarifa de frete (R\$/ton.km)	Custo Unitário do Frete (R\$)
Depósito de Areia	20 (10)	0,20	4,00
Pedreira-1	20 (15)	0,22	4,40
Pedreira-2	44	0,25	11,00
Pedreira-3	78	0,14	10,92
REFAP Canoas	10	X	25,00
REPAR Araucária	800	X	135,00

Os valores de custo unitário representam o valor pago pela tonelada transportada de cada material. Cabe frisar que o frete do cimento asfáltico não é calculado na forma tonelada-quilômetro, respeitando, assim, critério próprio das distribuidoras.

4.2.4. Custos unitários finais

Obtidos os custos unitários do material retirado na origem, e os custos unitários de fretes relativos a transporte do material, tem-se agora condições de calcular os custos finais de colocação do material na usina de asfalto (tabela 10).

Tabela 10 – Custos unitários finais do material colocado na usina de asfalto

Material	Fornecedor-1	Fornecedor-2	Fornecedor-3
Areia	29,79	30,48	X
Pó de Brita	27,43	31,34	27,33
Brita-0	34,61	38,38	26,15
Brita-1	26,79	30,31	24,96
CAP	1.111,75	1.221,75	X

4.2.5. Nível de produção

Considerando a capacidade de produção da empresa e o histórico de consumo de material utilizado em suas obras, pode-se estimar os níveis mínimos e máximos de produção para cada tipo de produto que compõem o *mix* de produção da empresa.

Como referencial, tomou-se o *mix* de produção composto pelas duas especificações de CBUQ tradicionalmente utilizadas nas obras de pavimentação, representados pelas faixas – A e B do DAER/RS.

O horizonte de produção considerado foi de no máximo trinta dias, tomando-se como base os limites de produção diária da empresa, considerando que a caracterização do regime de produção se dá por lote ou batelada, não havendo produção contínua em razão da dinâmica de obras da empresa e das características do material produzido, que não pode ser estocado.

A tabela 11 abaixo demonstra os percentuais mínimos e máximos adotados para tal fim.

Tabela 11 – Composição do *mix* de produção conforme projetos asfálticos

Material	Mínimo	Máximo
CBUQ faixa – A	85%	95%
CBUQ faixa – B	5%	15%

As condições de trabalho na usina em vista da capacidade produtiva foram consideradas da seguinte forma:

Capacidade de produção máxima da usina: 60 ton / hora

Número de horas trabalhadas por dia: 8,8 – 0,8 horas = 8,0 horas

Capacidade de produção máxima para 20 dias úteis: 9600 ton / mês.

Para efeito de comparação, foi adotada a produção de 2500 toneladas, valor médio de produção sem considerar picos de alta ou de baixa.

Poderiam ser trabalhados também, níveis considerados baixos ou altos, porém, em virtude de se tratarem de custos variáveis, qualquer mudança na quantidade produzida não produziria reflexos nos custos unitários finais.

4.3. FORMULAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

A construção do modelo computacional apoiou-se basicamente em um problema de alocação de recursos em programação linear, bastante difundido na literatura.

Esse tipo de problema diz respeito à atribuição e distribuição de recursos entre as diversas atividades a serem realizadas, mediante a escassez de algum recurso, devendo-se, então, encontrar a combinação da melhor distribuição possível deles para que se chegue aos resultados esperados em relação à aquisição de matérias-primas e seus teores de mistura admitidos tecnicamente na produção de concreto asfáltico.

Considerando a situação analisada anteriormente, as restrições impostas ao modelo computacional foram construídas em decorrência de todas as entidades envolvidas no processo de produção da massa asfáltica na usina.

4.3.1. Nível de produção

Dado que a produção total da usina é representada pela variável q , a expressão que representa a produção total pode ser representada pela fórmula genérica:

$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$, onde:

q = produção total da usina

q_1, q_2, q_n = quantidade de cada produto produzido

Tomando a produção da usina de asfalto, formada somente pela produção de dois tipos de massa asfáltica, faixas A e B, respectivamente, conforme visto anteriormente, temos que a produção total no modelo pode ser representada pela equação a seguir:

$q = qFX_a + qFX_b$, onde:

qFX_a = quantidade produzida de concreto faixa – A;

qFX_b = quantidade produzida de concreto faixa – B;

Fazendo a transformação, tem-se:

$$q - qFX_a - qFX_b = 0,$$

que vem a ser a linha do modelo que totaliza a produção.

Utilizando-se os valores mínimos e máximos para a produção de cada projeto asfáltico, chega-se à montagem das restrições impostas ao sistema que indicarão qual a relação de produção que minimiza ou maximiza os custos de produção.

O nível de produção médio adotado no modelo referencia que o concreto especificado pela Faixa – B deve compor no mínimo 5% do total produzido e, no máximo, 15%, daí decorrem as expressões:

$$qFX_b > 5\%(qFX_a + qFX_b), \text{ e}$$

$$qFX_b \leq 15\%(qFX_a + qFX_b)$$

Desenvolvendo, teremos

$$\text{Mínimo de 5\%} \quad 100qFX_b - 5qFX_a - 5qFX_b \geq 0$$

$$\text{Máximo de 15\%} \quad 100qFX_b - 15qFX_a - 15qFX_b \leq 0$$

Como as restrições do *mix* de produção.

4.3.2. Nível de consumo de matérias-primas

Obtidos os níveis de produção qFX_a e qFX_b , determina-se em seguida o nível de consumo, que representa o consumo das matérias-primas para cada um dos concretos produzidos. Vejamos para o caso da faixa – A.

Das igualdades,

$$qFX_a = qCA_a + qAR_a + qPB_a + qB0_a + qB1_a, \text{ onde:}$$

qCA_a = quantidade de CAP utilizado na mistura da faixa – A;

qAR_a = quantidade de areia utilizada na mistura da faixa – A;

qPB_a = quantidade de Pó de Brita utilizada na mistura da faixa – A;

$qB0_a$ = quantidade de Brita-0 utilizada na mistura da faixa – A;

$qB1_a$ = quantidade de Brita-1 utilizada na mistura da faixa – A;

e

$$qFX_b = qCA_b + qAR_b + qPB_b + qB0_b + qB1_b, \text{ onde:}$$

qCA_b = quantidade de CAP utilizado na mistura da faixa – B;

qAR_b = quantidade de areia utilizada na mistura da faixa – B;

qPB_b = quantidade de Pó de Brita utilizada na mistura da faixa – B;

$qB0_b$ = quantidade de Brita-0 utilizada na mistura da faixa – B;

$qB1_b$ = quantidade de Brita-1 utilizada na mistura da faixa – B;

obtém-se as restrições que determinam os consumos de matéria-prima por faixa de concreto produzido:

Total produzido	Atribuição
CBUQ Faixa – A	$qFX_a - qCA_a - qAR_a - qPB_a - qB0_a - qB1_a = 0$
CBUQ Faixa – B	$qFX_b - qCA_b - qAR_b - qPB_b - qB0_b - qB1_b = 0$
CBUQ Na Usina	$q - qFX_a - qFX_b = 0$

4.3.3. Misturas para as faixas de concreto adotadas

Tendo definido os níveis de produção para todos os tipos de concreto produzidos, a próxima etapa consistirá em determinar os teores de mistura adotados para cada especificação de projeto.

4.3.3.1. Mistura para a faixa – A (DAER)

Tomando-se os teores da mistura conforme o projeto 1, adotado para a produção da CBUQ especificado na faixa – A, tem-se as tolerâncias admitidas pelas recomendações de projeto, demonstrado na tabela 12.

Tabela 12 – Especificações de teor de material da faixa – A

Matéria-prima	Teor	Tolerância	Mín. admitido	Máx. admitido
CAP	5,6%	± 0,3%	5,3%	5,9%
Areia	8,0%	± 2%	6%	10,0%
Pó de Brita	46,0%	± 7%	39%	53%
Brita-0	46,0%	± 7%	39%	53%
Brita-1	0,0%	± 7%	0%	0%

As inequações de restrições aqui são do tipo maior ou igual ao mínimo percentual admitido e menor ou igual ao máximo percentual admitido na mistura conforme o projeto-1.

No caso dos limites inferiores da mistura, as restrições são do tipo ≥ 0 . E em razão da diferença entre a forma de cálculo dos teores do ligante asfáltico e dos agregados na mistura, ambas são representadas a seguir:

a) No caso do ligante asfáltico (CAP), o teor refere-se à adição de CAP, em peso, ao conjunto dos agregados na mistura:

$$\frac{qCAa}{qARa + qPBa + qB0a + qB1a} \geq 5,3\% , \text{ onde:}$$

qCA_a = quantidade de Cimento asfáltico aplicado na mistura a;

qAR_a = quantidade de Areia aplicada na mistura a;

qPB_a = quantidade de Pó de Brita aplicado na mistura a;

$qB0_a$ = quantidade de Brita-0 aplicado na mistura a

$qB1_a$ = quantidade de Brita-1 aplicado na mistura a

Daí decorre que: $qCA \geq 5,3\%(qARa + qPBa + qB0a)$

Então, a linha de restrição inferior para o CAP na faixa – A é assim descrita:

mínimo teor de CAP na mistura = $qCA - 0,053qARa - 0,053qPBa - 0,053qB0a \geq 0$

Que, por uma questão de melhor visualização, pode-se multiplicar ambos os lados da inequação por 1000, a fim de se eliminar as casas decimais, ficando assim:

mínimo teor de CAP na mistura = $1000qCA - 53qARa - 53qPBa - 53qB0a \geq 0$

b) No caso dos agregados, o teor constante da tabela refere-se à mistura entre si, já que se referem às composição granulométricas entre si.

Utilizando-se da variável para areia, tem-se:

$$\frac{qARa}{qARa + qPBa + qB0a + qB1a} \geq 6,0\% , \text{ onde:}$$

qAR_a = quantidade de Areia aplicada na mistura a;

qPB_a = quantidade de Pó de Brita aplicado na mistura a;

$qB0_a$ = quantidade de Brita-0 aplicado na mistura a

$qB1_a$ = quantidade de Brita-1 aplicado na mistura a

Desenvolvendo, tem-se:

$$qAR \geq 6\%(qARa + qPBa + qB0a), \text{ então}$$

A linha de restrição inferior para o agregado areia na faixa – A é assim descrita:

mínimo teor de areia na mistura = $100qARa - 6qARa - 6qPBa - 6qB0a \geq 0$

Analogamente, os demais agregados conterão restrições para os limites inferiores calculados do mesmo modo que para a areia.

Sendo assim, as linhas de restrições para os limites inferiores, ficaram escritas da forma descrita na tabela 13:

Tabela 13 – Limites inferiores da faixa – A

Matéria-prima	restrição
CAP	$1000qCA_a - 53qAR_a - 53qPB_a - 53qB0_a \geq 0$
Areia	$100qAR_a - 6qAR_a - 6qPB_a - 6qB0_a \geq 0$
Pó de Brita	$100qPB_a - 39qAR_a - 39qPB_a - 39qB0_a \geq 0$
Brita-0	$100qB0_a - 39qAR_a - 39qPB_a - 39qB0_a \geq 0$
Brita-1	Não é utilizada na Faixa – A

De forma oposta, os limites superiores da mistura apresentam restrições do tipo ≤ 0 , substituindo-se apenas os teores mínimos pelos teores máximos, ficando as linhas de restrição escritas da forma abaixo, observando que o teor de Brita-1 é zero.

Tabela 14 – Limites superiores da faixa – A

Matéria-prima	restrição
CAP	$1000qCA_a - 59qAR_a - 59qPB_a - 59qB0_a \leq 0$
Areia	$100qAR_a - 10qAR_a - 10qPB_a - 10qB0_a \leq 0$
Pó de Brita	$100qPB_a - 53qAR_a - 53qPB_a - 53qB0_a \leq 0$
Brita-0	$100qB0_a - 53qAR_a - 53qPB_a - 53qB0_a \leq 0$
Brita-1	$qB1_a \leq 0$, não é utilizada na faixa – A

4.3.3.2. Mistura para a faixa – B (DAER)

Do mesmo modo que para a faixa – A, as restrições da mistura para a faixa – B obedecem aos teores especificados pelo projeto 2, dados na tabela 15:

Tabela 15 – Especificações de teor de material da faixa – B (DAER/RS)

Matéria-prima	Teor	Tolerância	Mín. admitido	Máx. admitido
CAP	5,2%	± 0,3%	4,9%	5,9%
Areia	8,0%	± 2%	6%	10,0%
Pó de Brita	39,0%	± 5%	34%	44%
Brita-0	28,0%	± 5%	23%	33%
Brita-1	25,0%	± 5%	20%	30%

Como ilustrado anteriormente, a faixa – B, então, apresenta as linhas de restrição para os limites inferiores mostradas na tabela 16 e para os limites superiores mostrados na tabela 17:

Tabela 16 – Limites inferiores da faixa – B

Matéria-prima	restrição
CAP	$1000qCA_b - 49qAR_b - 49qPB_b - 49qB0_b - 49qB1_b \geq 0$
Areia	$100qAR_b - 6qAR_b - 6qPB_b - 6qB0_b - 6qB1_b \geq 0$
Pó de Brita	$100qPB_b - 34qAR_b - 34qPB_b - 34qB0_b - 34qB1_b \geq 0$
Brita-0	$100qB0_b - 23qAR_b - 23qPB_b - 23qB0_b - 23qB1_b \geq 0$
Brita-1	$100qB1_b - 20qAR_b - 20qPB_b - 20qB0_b - 20qB1_b \geq 0$

Tabela 17 – Limites superiores da faixa – B

Matéria-prima	restrição
CAP	$1000qCA_b - 59qAR_b - 59qPB_b - 59qB0_b - 59qB1_b \leq 0$
Areia	$100qAR_b - 10qAR_b - 10qPB_b - 10qB0_b - 10qB1_b \leq 0$

Pó de Brita	$100qPB_b - 44qAR_b - 44qPB_b - 44qB0_b - 44qB1_b \leq 0$
Brita-0	$100qB0_b - 33qAR_b - 33qPB_b - 33qB0_b - 33qB1_b \leq 0$
Brita-1	$100qB1_b - 30qAR_b - 30qPB_b - 30qB0_b - 30qB1_b \leq 0$

4.3.4. Consumos de matérias-primas

Obtidas as quantidades de matérias-primas consumidas, pela produção de concreto faixa – A e faixa – B e suas composições de mistura, calcula-se o total de matérias-primas a serem consumidas na usina, da seguinte forma:

$$s_CA = qCA_a + qCA_b;$$

$$s_AR = qAR_a + qAR_b;$$

$$s_PB = qPB_a + qPB_b;$$

$$s_B0 = qB0_a + qB0_b;$$

$$s_B1 = qB1_a + qB1_b;$$

onde,

s_CA representa o consumo total CAP na usina;

s_AR representa o consumo total de areia na usina;

s_PB representa o consumo total de pó de brita na usina;

s_B0 representa o consumo total de brita-0 na usina;

s_B1 representa o consumo total de brita-1 na usina.

As quantidades consumidas de matéria-prima são dadas pelas linhas de restrição da tabela 18:

Tabela 18 – Restrições dos consumos de matéria-prima

Matéria-prima	Variável	Expressão
CAP	s_CA	$s_CA - qCA_a - qCA_b = 0$
Areia	s_AR	$s_AR - qAR_a - qAR_b = 0$

Pó de Brita	s_{PB}	$s_{PB} - qPB_a - qPB_b = 0$
Brita-0	s_{B0}	$s_{B0} - qB0_a - qB0_b = 0$
Brita-1	s_{B1}	$s_{B1} - qB1_a - qB1_b = 0$

4.3.5. Origens das matérias-primas

Com função determinante no modelo, as expressões a seguir determinam as origens dos produtos adquiridos, em função de seus custos de aquisição.

Para tanto, basta igualar os totais consumidos de cada matéria-prima obtidos na seção anterior e representados pelas variáveis de prefixo $s_{_}$, aos respectivos locais de abastecimento, representados nos números índices das variáveis:

De forma geral:

$$s_{_X} = qX_1 + qX_2 + qX_n, \text{ onde:}$$

$s_{_X}$ é o total consumido da matéria-prima X , com

X podendo assumir os valores CA , AR , PB , $B0$ e $B1$ e,

$1, 2 \dots n$ representando o fornecedor para a matéria prima X ,

assim,

$$s_{_CA} = qCA_1 + qCA_2;$$

$$s_{_AR} = qAR_1 + qAR_2;$$

$$s_{_PB} = qPB_1 + qPB_2 + qPB_3;$$

$$s_{_B0} = qB0_1 + qB0_2 + qB0_3;$$

$$s_{_B1} = qB1_1 + qB1_2 + qB1_3;$$

Levando às seguintes linhas de restrição no modelo, mostradas na tabela 19.

Tabela 19 – Restrições que determinam as origens do fornecimento

Matéria-prima	restrição
CAP	$s_{_CA} - qCA_1 - qCA_2 = 0$
Areia	$s_{_AR} - qAR_1 - qAR_2 = 0$

$$\text{Pó de Brita} \quad s_{PB} - qPB_1 - qPB_2 - qPB_3 = 0$$

$$\text{Brita-0} \quad s_{B0} - qB0_1 - qB0_2 - qB0_3 = 0$$

$$\text{Brita-1} \quad s_{B1} - qB1_1 - qB1_2 - qB1_3 = 0$$

Essas restrições forçam o modelo a buscar a combinação que aloca o fornecimento de determinada quantidade de matéria-prima ao fornecedor mais adequado conforme seja o caso de maximização ou minimização dos custos (ou outro fator qualquer), mediante as restrições impostas.

4.3.6. Custos com matérias-primas

Nas duas subseções seguintes, são expostas as expressões que representam os custos de aquisição e de transporte para as matérias-primas utilizadas, formando, ao final, a expressão geral da função objetivo do modelo de programação linear aqui formulado.

4.3.6.1. Custos com aquisição de matérias-primas

Os custos das matérias-primas adquiridas são totalizados pela variável vp_{tot} , e são dados pela soma dos produtos dos custos de fornecimento pela quantidade de fornecimento de cada matéria-prima adquirida dos fornecedores:

$$vp_{tot} = \sum c_i q_i, \text{ onde:}$$

c_i = custo da mercadoria do fornecedor i ,

q_i = quantidade adquirida do fornecedor i .

O modelo apresenta os custos de aquisição individualmente para cada matéria-prima, com o propósito de apresentar maior clareza ao leitor, de acordo com as seguintes expressões:

$$vp_{CA} = 1086.75s_{CA_1} + 1086.75s_{CA_2};$$

$$vp_AR = 25.79s_AR_1 + 26.48s_AR_2;$$

$$vp_PB = 23.03s_PB_1 + 20.34s_PB_2 + 16.41s_PB_3;$$

$$vp_B0 = 30.21s_B0_1 + 27.38s_B0_2 + 15.23s_B0_3;$$

$$vp_B1 = 22.39s_B1_1 + 19.31s_B1_2 + 14.04s_B1_3;$$

onde:

vp_CA = custo de aquisição do CAP,

vp_AR = custo de aquisição de areia,

vp_PB = custo de aquisição de pó de brita,

vp_B0 = custo de aquisição de brita-0,

vp_B1 = custo de aquisição de brita-1.

Levando às seguintes linhas de atribuição no modelo:

Tabela 20 – Linhas de atribuição para os custos de matéria-prima

Material	Variável	Atribuição
CAP	vp_CA	$vp_CA - 1086.75s_CA_1 - 1086.75s_CA_2 = 0$
Areia	vp_AR	$vp_AR - 25.79s_AR_1 - 26.48s_AR_2 = 0$
Pó de Brita	vp_PB	$vp_PB - 23.03s_PB_1 - 20.34s_PB_2 - 16.41s_PB_3 = 0$
Brita-0	vp_B0	$vp_B0 - 30.21s_B0_1 - 27.38s_B0_2 - 15.23s_B0_3 = 0$
Brita-1	vp_B1	$vp_B1 - 22.39s_B1_1 - 19.31s_B1_2 - 14.04s_B1_3 = 0$

4.3.6.2. Custos com transporte das matérias-primas

Os custos de transporte das matérias-primas adquiridas são totalizados pela variável vf_tot , e são dados pela soma dos produtos dos custos de transporte pela quantidade de fornecimento de cada matéria-prima adquirida dos fornecedores:

$$vf_tot = \sum t_i q_i, \text{ onde:}$$

t_i = tarifa de frete das mercadorias adquiridas do fornecedor i ,

q_i = quantidade adquirida do fornecedor i .

O modelo apresenta os custos de transporte de mercadorias individualmente para cada matéria-prima, com o propósito de apresentar maior clareza ao leitor, de acordo com as seguintes expressões:

$$vf_CA = 25.00s_CA_1 + 135.00s_CA_2;$$

$$vf_AR = 4.00s_AR_1 + 4.00s_AR_2;$$

$$vf_PB = 4.40s_PB_1 + 11.00s_PB_2 + 10.92s_PB_3;$$

$$vp_B0 = 4.40s_B0_1 + 11.00s_B0_2 + 10.92s_B0_3;$$

$$vp_B1 = 4.00s_B1_1 + 11.00s_B1_2 + 10.92s_B1_3;$$

onde:

$$vf_CA = \text{custo de frete do CAP,}$$

$$vf_AR = \text{custo de frete de areia,}$$

$$vf_PB = \text{custo de frete de pó de brita,}$$

$$vf_B0 = \text{custo de frete de brita-0,}$$

$$vf_B1 = \text{custo de frete de brita-1.}$$

Levando às seguintes linhas de atribuição no modelo:

Tabela 21 – Linhas de atribuição para os custos de fretes

Material	Variável	Atribuição
CAP	vf_CA	$vf_CA - 25.00s_CA_1 - 135s_CA_2 = 0$
Areia	vf_AR	$vf_AR - 4.00s_AR_1 - 4.00s_AR_2 = 0$
Pó de Brita	vf_PB	$vf_PB - 4.40s_PB_1 - 11.00s_PB_2 - 10.92s_PB_3 = 0$
Brita-0	vf_B0	$vf_B0 - 4.40s_B0_1 - 11.00s_B0_2 - 10.92s_B0_3 = 0$
Brita-1	vf_B1	$vf_B1 - 4.40s_B1_1 - 11.00s_B1_2 - 10.92s_B1_3 = 0$

4.3.6.3. Custos totais das matérias-primas

Ao final, obtemos a variável vc_{total} , representante do custo total da matéria-prima consumida na usina, e composta dos custos de aquisição e transporte das mesmas, dados os fornecedores de origem.

Lembrando que por uma questão de simplificação da escrita do modelo computacional, optou-se por fragmentar a expressão do custo total em variáveis de trabalho. Isto posto, a função objetivo pode então ser representada de forma expandida da seguinte forma:

Dado que:

$$vc_{tot} = vp_{tot} + vf_{tot}, \text{ onde:}$$

$$vc_{tot} = \text{custo total dos matérias-primas consumidas,}$$

$$vp_{tot} = \text{custo dos produtos adquiridos,}$$

$$vf_{tot} = \text{custo de transporte dos produtos adquiridos,}$$

A função objetivo pode, então, ser representada de forma expandida, substituindo os termos da direita da equação acima pelas suas componentes originais, resultando que seus coeficientes são representados pelos preços unitários de aquisição das matérias-primas produzidas, assim escrita:

$$\begin{aligned} Z = & 1.111,75s_{CA_1} + 1.221,75s_{CA_2} + ; \\ & 29,79s_{AR_1} 30,48s_{AR_2} + ; \\ & 27,43s_{PB_1} + 31,34s_{PB_2} + 27,33s_{PB_3} + ; \\ & 34,61s_{B0_1} + 38,38s_{B0_2} + 26,15s_{B0_3} + ; \\ & 26,79s_{B1_1} + 30,31s_{B1_2} + 24,96s_{B1_3} \end{aligned}$$

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a implementação do modelo computacional e sua respectiva resolução mediante a simulação de cenários, foi possível visualizar os resultados individualizando cada situação, com suas respectivas restrições.

As situações de produção foram divididas em três cenários, a fim de proporcionar maior clareza na interpretação dos resultados, todas elas representando uma produção de 2500 toneladas mensais na usina de asfalto.

O primeiro cenário foi elaborado a partir da prática constatada na empresa, cuja restrição é não contar com pedreira própria, e não dispor de brita-0 com o fornecedor 1, além de considerar os projetos de fabricação de massa asfáltica atuais.

O segundo cenário foi elaborado para simular a possibilidade de operar uma unidade de britagem, mesmo que com a restrição de fornecimento limitando o abastecimento da usina em 900 toneladas.

O terceiro e último cenário projeta a unidade de britagem atendendo integralmente à demanda da usina de asfalto, considerando que esta é a situação almejada pela empresa no presente momento.

Os resultados analisados estão sintetizados na tabela 22, que apresentam de forma resumida os custos unitários médios obtidos. Nos apêndices, encontram-se as tabelas analíticas que compõem os referidos valores.

Tabela 22 – Resultados obtidos

Situação	Custo médio unitário (R\$)	Diferença (R\$)	Redução (%)
Cenário-1			
Misturas atuais	R\$ 89,585		
Misturas ótimas	R\$ 85,370	(-) 4,215	4,7%
Cenário-2			
Pedreira 3 COM restrição	R\$ 82,276	(-) 7,309	8,2% / 3,6%
Cenário-3			
Pedreira 3 SEM restrição	R\$ 80,806	(-) 8,779	9,8% / 5,3%

A tabela 23 mostra que o custo unitário do concreto asfáltico obtido com a mistura praticada atualmente pela empresa é de R\$ 89,585 em média.

Na tabela 24, está demonstrado o custo unitário do concreto asfáltico obtido com os teores ótimos da mistura calculados pelo modelo.

Como primeira observação, pode-se perceber no cenário 1 que o custo médio das misturas empregadas pode ser reduzido de R\$ 4,215, ou 4,7% em relação ao que é praticado atualmente pela empresa, dado o critério de economicidade já ressaltado neste estudo, e que a estimativa foi feita para uma média de 2500 toneladas mensais produzidas.

Tabela 23 – Cenário 1 – Custos de projeto com mistura original

Mistura com projeto original				Custo Unitário: R\$			89,585		
Mat.Prima	taxa	faixa-A	faixa-B	por fornecedor			\$ gasto com mat-primas		
				f1	f2	f3	prods	frete	saída
CAP	0,0529	5,6%	5,2%	132,1	-	-	143.587,58	3.303,14	146.890,72
Areia	0,0758	8,0%	8,0%	189,4	-	-	4.885,40	757,72	5.643,12
Pó de Brita	0,4324	46,0%	39,0%	1.080,9	-	-	24.893,24	4.755,98	29.649,22
Pedrisco	0,4271	46,0%	28,0%	-	1.067,8	-	29.237,30	11.746,18	40.983,48
Brita-1	0,0119	0,0%	25,0%	29,7	-	-	665,10	130,70	795,81
TOTAL							203.268,62	20.693,72	223.962,34

Para ilustrar isso, a tabela 24 revela que os teores ótimos podem ser aproximados com o aumento da participação do pó de pedra na mistura, passando de 46% para 53% na faixa – A, e de 39% para 41% na faixa – B; do mesmo modo, no caso da faixa – B, a brita-1 pode ter seu teor aumentado de 25% para 30%, ao passo que a brita-0 (Pedrisco) teria seus teores reduzidos de 46% para 39% na faixa – A, e de 28% para 23% na faixa – B. Essas alterações são sugeridas em função de que modelo assume que o projeto asfáltico admite tais variações, conforme estabelecido anteriormente.

Tabela 24 – Cenário 1 – Custos de projeto com mistura ótima

Mistura com projeto ótimo							Custo Unitário: R\$		85,370
Mat.Prima	taxa	faixa-A	faixa-B	por fornecedor			\$ gasto com mat-primas		
				f1	f2	f3	prods	frete	saída
CAP	0,0498	5,3%	4,9%	124,5	-	-	135.271,03	3.111,83	138.382,86
Areia	0,0732	8,0%	6,0%	182,9	-	-	4.716,80	731,57	5.448,37
Pó de Brita	0,4865	53,0%	41,0%	1.216,1	-	-	28.007,50	5.350,98	33.358,48
Pedrisco	0,3477	39,0%	23,0%	-	869,3	-	23.800,29	9.561,84	33.362,13
Brita-1	0,0429	0,0%	30,0%	107,2	-	-	2.401,22	471,88	2.873,09
TOTAL							194.196,84	19.228,09	213.424,93

Para a análise dos cenários 2 e 3 foi tomado como base o custo médio da mistura otimizada pelo cenário 1 (tabela 24).

A análise do custo médio para o cenário 2 reporta uma economia de 3,6% nos custos de produção enquanto a empresa estiver operando com a unidade de britagem com a restrição imposta de 900 toneladas.

Tabela 25 – Cenário 2 – Custos com Pedreira 3 restrita a 900 toneladas

Mistura com projeto ótimo							Custo Unitário: R\$		82,276
Mat.Prima	taxa	faixa-A	faixa-B	por fornecedor			\$ gasto com mat-primas		
				f1	f2	f3	prods	frete	saída
CAP	0,0498	5,3%	4,9%	124,5	-	-	135.271,03	3.111,82	138.382,86
Areia	0,0570	6,0%	6,0%	142,5	-	-	3.675,89	570,13	4.246,02
Pó de Brita	0,3796	41,0%	34,0%	948,9	-	-	21.854,14	4.175,35	26.029,49
Pedrisco	0,4707	53,0%	30,0%	-	276,8	900,0	21.286,01	12.872,89	34.158,90
Brita-1	0,0429	0,0%	30,0%	107,2	-	-	2.401,22	471,88	2.873,09
TOTAL							184.488,28	21.202,06	205.690,35

A avaliação do cenário 3 permite concluir que o percentual de ganho relativo à economia de custos de produção na usina poderá chegar a 5,3%, contemplando as

duas proposições básicas do modelo computacional desenvolvido neste trabalho: a otimização da mistura do material e a otimização dos custos de entrada de matérias-primas na usina. Esse ganho parece pequeno quando visto de forma unitária, mas tomando uma produção média de 2500 toneladas mensais, ao longo de 12 meses isso poderá representar um montante de R\$ 136.920,00, o que representa parcela muito significativa em termos de redução de custos operacionais. Levando em conta, ainda, que os ganhos podem ser comparados com os teores de mistura praticados atualmente pela empresa, poder-se-ia alcançar uma economia de R\$ 263.370,00 mas que na presente avaliação caberia estender o estudo para certificar tal conclusão, haja vista que a simples modificação da mistura implica em obter anuência dos clientes na possibilidade de adota-la, não sendo, portanto, garantida a sua obtenção.

Tabela 26 – Cenário 3 – Custos com Pedreira 3 atendendo à demanda da usina

Mistura com projeto ótimo				Custo unitário: R\$			80,806		
Mat.Prima	taxa	faixa-A	faixa-B	por fornecedor			\$ gasto com mat-primas		
				f1	f2	f3	prods	frete	saída
CAP	0,0498	5,3%	4,9%	124,5	-	-	135.271,03	3.111,82	138.382,86
Areia	0,0570	6,0%	6,0%	142,5	-	-	3.675,89	570,13	4.246,02
Pó de Brita	0,3796	41,0%	34,0%	-	-	948,9	15.572,14	10.362,45	25.934,59
Pedrisco	0,4707	53,0%	30,0%	-	-	1.176,8	17.922,79	12.850,74	30.773,53
Brita-1	0,0429	0,0%	30,0%	-	-	107,2	1.505,72	1.171,12	2.676,84
TOTAL							173.947,57	28.066,26	202.013,83

Além do mais, não fez parte do presente estudo a projeção de resultados da unidade de britagem, que certamente elevará os ganhos da empresa em função da comercialização da produção não distribuída para a usina de asfalto ou demandada em obras e serviços contratados pela empresa.

Cabe destacar ainda, que em função da utilização de um modelo relativamente simples, não é de todo certo que os resultados sejam comprovados na prática, uma vez que há elementos técnicos que devem ser avaliados em foro específico, fugindo ao prisma econômico orientado no presente estudo.

5. CONCLUSÃO

O presente capítulo apresenta as conclusões extraídas do presente estudo, que levou em conta a construção de um modelo de programação linear para analisar o comportamento dos custos diretos de produção envolvidos na fabricação de concreto asfáltico em usina a quente, considerando as restrições de projeto bem como as restrições de fornecimento encontradas pela Brasfalto Pavimentação Ltda.

A totalidade dos objetivos do presente estudo foi alcançada, considerando que o modelo de programação linear desenvolvido computacionalmente se prestou a fornecer todas as informações pertinentes à matéria estudada, quais sejam:

- a) a formulação do modelo baseou-se num critério simples de alocação de recursos, amplamente difundido em Pesquisa Operacional;
- b) o modelo computacional permitiu grande flexibilidade na obtenção de cenários, mediante a simulação de diversas situações vividas pela empresa ao longo dos anos;

Foi possível verificar, em função da composição das matérias-primas, que os projetos asfálticos, apesar de fortemente normatizados, permitem a prospecção econômica do uso e aplicação de suas matérias-primas, desde que dentro dos limites das especificações estabelecidas.

Essas composições permitiram clara visualização de cenários para o estabelecimento de decisões gerenciais da administração, por exemplo:

- a) No plano tático, o modelo permite a tomada de decisões a respeito da quantificação do material a ser empregado em nível de orçamentação, bem com estabelecer diretrizes básicas na programação de pedidos de materiais aos fornecedores, mediante critérios racionalmente amparados pelo modelo.
- b) No plano estratégico, possibilita a visão geral do processo, subsidiando decisões de longo prazo que venham a contribuir com o desempenho e competitividade da empresa, seja pela escolha das diretrizes básicas de operação, seja pela decisão de expandir sua atuação no mercado como a abertura de novas unidades que venham agregar valor ao capital empregado no negócio.

Dada a ampla gama de aplicações que a Pesquisa Operacional é capaz de oferecer, tem-se a pretensão de estender o modelo formulado, incorporando variáveis a partir de observações constatadas neste estudo, sob os aspectos da mão-de-obra utilizada, capacidades de estocagem e abastecimento, etc.

Por fim, pode-se também incorporar modelos desse tipo a outras áreas da empresa, com outros elementos que tenham relevância na estrutura de custos ou de serviços prestados. Dentre tantos, podem ser destacados a avaliação da logística utilizada, o dimensionamento da frota, a manutenção de máquinas e equipamentos, a utilização de equipamentos em obras, a nova unidade de britagem, maximização de resultados na comercialização de produtos, ou mesmo fornecer subsídios para problemas de customização, nos quais a diferenciação dos produtos fornecidos ou serviços prestados pode ser alcançada mantida a possibilidade de se trabalhar a custos reduzidos.

REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BOWERSOX, Donald J., CLOSS, David J., COOPER, M. Bixby; **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **A Indústria da Construção Brasileiro no início do Século XXI: Análise e Perspectivas**. Belo Horizonte: Outubro de 1998.

DAER/RS – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Especificações Gerais. 1998. <<http://www.daer.rs.gov.br/normas.htm>>. Acesso em 11 Mar. 2009.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Especificações de Material (EM)**. Disponível em <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_normas.htm>. Acesso em 15 Mar. 2009_a.

_____. **Especificações de Serviços (ES)**. Disponível em <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_normas.htm>. Acesso em 15 Mar. 2009_b.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.gov.br, acessado em setembro de 2008.

KAZMIER, Leonard J. **Estatística aplicada à economia e administração**. São Paulo: Pearson Makron Books, 1982. (Coleção Schaum).

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Agregados minerais para construção civil: Areia, brita e cascalho**. Disponível em <http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/agregados_minerais_propiedades_a_plicabilidade_ocorrencias.pdf>. Acesso em 28 mar. 2009.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S/A. www.petrobras.com.br, acessado em setembro de 2008.

Rede Cooperativa de Pesquisa em Asfalto. www.redeasfalto.org.br, acessado em setembro de 2008.

ROSS, Stephen A., WESTERFIELD, Randolph W., JORDAN, Bradford D.;
Princípios em administração financeira. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2000.

SCHMIDT, Paulo (org.). **Controladoria: Agregando valor para a empresa.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

SILVA, Élio Medeiros. **Pesquisa Operacional: programação linear.** São Paulo: Atlas, 1995.

WILLSON, James D., ROEHL-ANDERSON, Janice M., BRAGG, Steven M.
Controllership? The Work of the Managerial Accountant. 6th ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1999.

ZDANOWICZ, José Eduardo. **Criando valor através do orçamento.** Porto Alegre: Novak Multimedia, 2003.

APÊNDICE A – MODELO COMPUTACIONAL

!* função objetivo

!* $z = vpc_tot$

MIN vc_tot

!sujeito ao seguinte sistema de restrições

SUBJECT TO

!legenda:

!-----

! CA = variável indicativa para Cimento Asfáltico

! AR = variável indicativa para Areia

! PB = variável indicativa para Pó e Brita

! B0 = variável indicativa para Pedrisco (Brita-0)

! B1 = variável indicativa para Brita-1

!=====

!* restrições da mistura

!composição da faixa-A (Norma DAER)

!-----

fxA_CAi) $1000 qCAa - 53 qARa - 53 qPBa - 53 qB0a > 0$! teor de CAP

fxA_CAs) $1000 qCAa - 59 qARa - 59 qPBa - 59 qB0a < 0$! 5,6% \pm 0,3%

fxA_ARi) $100 qARa - 6 qARa - 6 qPBa - 6 qB0a > 0$! Areia

fxA_ARs) $100 qARa - 10 qARa - 10 qPBa - 10 qB0a < 0$! 8% \pm 2% na fx-A

fxA_PBi) $100 qPBa - 39 qARa - 39 qPBa - 39 qB0a > 0$! Pó de Brita

fxA_PBs) $100 qPBa - 53 qARa - 53 qPBa - 53 qB0a < 0$! 46% \pm 7% na fx-A

fxA_B0i) $100 qB0a - 39 qARa - 39 qPBa - 39 qB0a > 0$! Pedrisco

fxA_B0s) $100 qB0a - 53 qARa - 53 qPBa - 53 qB0a < 0$! 46% \pm 7% na fx-A

fxA_B1z) $qB1a < 0$! Brita-1 não é empregada na faixa-A

!* mistura ligante + agregados na Faixa-A

mix_fxa) $-qfxa + qCAa + qARa + qPBa + qB0a = 0$

!composição da faixa-B (Norma DAER)

!-----

fxb_CAi) $1000 qCAb - 49 qARb - 49 qPBb - 49 qB0b - 49 qB1b > 0$! teor de CAP

fxb_CAs) $1000 qCAb - 55 qARb - 55 qPBb - 55 qB0b - 55 qB1b < 0$! 5,2% \pm 0,3% na fx-B

fxb_ARi) $100 qARb - 6 qARb - 6 qPBb - 6 qB0b - 6 qB1b > 0$! Areia

fxb_ARs) $100 qARb - 10 qARb - 10 qPBb - 10 qB0b - 10 qB1b < 0$! 8% \pm 2% na fx-B

fxb_PBi) $100 qPBb - 34 qARb - 34 qPBb - 34 qB0b - 34 qB1b > 0$! Pó de Brita

fxb_PBs) $100 qPBb - 44 qARb - 44 qPBb - 44 qB0b - 44 qB1b < 0$! 39% \pm 5% na fx-B

fxb_B0i) $100 qB0b - 23 qARb - 23 qPBb - 23 qB0b - 23 qB1b > 0$! Pedrisco

fxb_B0s) $100 qB0b - 33 qARb - 33 qPBb - 33 qB0b - 33 qB1b < 0$! 28% \pm 5% na fx-B

$fxb_B1i) 100 qB1b - 20 qARb - 20 qPBb - 20 qB0b - 20 qB1b > 0$! Brita-1 (fx-B)
 $fxb_B1s) 100 qB1b - 30 qARb - 30 qPBb - 30 qB0b - 30 qB1b < 0$! 25% \pm 5% na fx-B

!* mistura ligante + agregados na Faixa-B
 $mix_fxb) -qfxb + qCAb + qARb + qPBb + qB0b + qB1b = 0$

=====

!—nível de produção
 metaprod) $q = 2500$

pr_baixa) $q - 60du > 0$!menor nível de produção
 pr_alta) $q - 480du < 0$!ao maior...

!mix de produção
 cbuq) $q - qfxb - qfxb = 0$

!restrições da demanda
 min_fxB) $qfxb - 0.05qfxb - 0.05qfxb > 0$
 max_fxB) $qfxb - 0.15qfxb - 0.15qfxb < 0$

=====

!restrições de fornecimento

!Pedreira 1
 F1max) $s_PB1 + s_B01 + s_B11 < 5000$
 F1semB0) $s_B01 < 0$! limitada em capacidade

!Pedreira 2
 F2max) $s_PB2 + s_B03 + s_B13 < 5000$

!Pedreira 3
 F3max) $s_PB3 + s_B03 + s_B13 < 900$! ainda limitada em capacidade
 F3semPB) $s_PB3 < 300$

!Depósito de areia
 AR_max) $s_AR1 + s_AR2 < 1000$

!REFAP paralisa bombeamento de Asfalto
 BUSCA_PR) $s_CA1 < 100$

!* variáveis da produção

!variáveis $s_$ contém a amarração necessária à escolha do fornecimento em função da necessidade de compras

!quantidade de matéria-prima necessária na usina
 $s_CA - qCAa - qCAb = 0$
 $s_AR - qARa - qARb = 0$
 $s_PB - qPBa - qPBb = 0$
 $s_B0 - qB0a - qB0b = 0$
 $s_B1 - qB1a - qB1b = 0$

!cujo custo será ser rateado entre fornecedores
 $s_CA - s_CA1 - s_CA2 = 0$
 $s_AR - s_AR1 - s_AR2 = 0$

$s_PB - s_PB1 - s_PB2 - s_PB3 = 0$
 $s_B0 - s_B01 - s_B02 - s_B03 = 0$
 $s_B1 - s_B11 - s_B12 - s_B13 = 0$

!* -----

!* custo por consumos de insumos

!* -----

$vp_CA - 1086.75 s_CA1 - 1086.75 s_CA2 = 0$
 $vp_AR - 25.79 s_AR1 - 26.48 s_AR2 = 0$
 $vp_PB - 23.03 s_PB1 - 20.34 s_PB2 - 16.41 s_PB3 = 0$
 $vp_B0 - 30.21 s_B01 - 27.38 s_B02 - 15.23 s_B03 = 0$
 $vp_B1 - 22.39 s_B11 - 19.31 s_B12 - 14.04 s_B13 = 0$

$vp_tot - vpc_CA - vpc_AR - vpc_PB - vpc_B0 - vpc_B1 = 0$

!* custo com fretes sobre consumos

!* -----

$vf_CA - 25.00 s_CA1 - 135.00 s_CA2 = 0$
 $vf_AR - 4.00 s_AR1 - 4.00 s_AR2 = 0$
 $vf_PB - 4.40 s_PB1 - 11.00 s_PB2 - 10.92 s_PB3 = 0$
 $vf_B0 - 4.40 s_B01 - 11.00 s_B02 - 10.92 s_B03 = 0$
 $vf_B1 - 4.40 s_B11 - 11.00 s_B12 - 10.92 s_B13 = 0$

$vf_tot - vfc_CA - vfc_AR - vfc_PB - vfc_B0 - vfc_B1 = 0$

!* custos totais (função objetivo)

!* -----

$vc_tot - vp_tot - vf_tot = 0$

end