

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

José Alfredo Guimarães de Sá

**ANÁLISE DE VALOR E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: BASES PARA UM
MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA APROVEITAR REJEITOS DE
PEDREIRAS**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis

2004

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

José Alfredo Guimarães de Sá

**ANÁLISE DE VALOR E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: BASES PARA UM
MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA APROVEITAR REJEITOS DE
PEDREIRAS**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia de Produção**

Orientador: Prof. Osmar Possamai, Dr.

S111a

Sá, José Alfredo Guimarães de.

Análise de valor e avaliação do ciclo de vida : bases para um modelo de apoio à decisão para aproveitar rejeitos de pedreiras. / José Alfredo Guimarães de Sá. – Florianópolis, 2004.

146 f.

Dissertação (Mestrado) – Mestre em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

1. Análise de valor - AV. 2. Avaliação do ciclo de vida - ACV. 3. Areia industrial. 4. Desenvolvimento sustentável I. Título.

CDD 658.575

José Alfredo Guimarães de Sá

**ANÁLISE DE VALOR E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: BASES PARA UM
MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA APROVEITAR REJEITOS DE
PEDREIRAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada e aprovada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 9 de julho de 2003.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Osmar Possamai, Dr.
Univ. Federal de Santa Catarina
Orientador

Prof. Gregório J. Varvakis Rados, Dr.PhD
Dr.PhD

Prof. Luiz Veriano O. Dalla Valentina,

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Hamira, pelo o apoio e incentivo quando precisei, além do amor carinho e companheirismo. Também aos meus filhos Thiago e Thaís por tudo que representam, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido viver até agora e a oportunidade de crescer pessoal e profissionalmente.

Ao Professor Osmar Possamai, pela paciência, orientação e sugestões na elaboração desta dissertação.

A Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, pelo corpo docente de extrema competência além da amizade que demonstraram durante o nosso pouco convívio.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFET/GO, pela oportunidade que me foi oferecida para participar deste mestrado, a confiança e contribuição oferecida para que esta dissertação pudesse ser concretizada.

A REDIMIX e Pedreira ANHANGÜERA, na figura do Wilson, pela cessão dos seus dados e apoio que permitiram a aplicação do modelo aqui proposto.

Aos colegas de mestrado, em especial ao Jerônimo, que muito ajudou na obtenção de material bibliográfico e discussões, a Thelma, Gilda, Agnaldo, Domingos e outros, pelo incentivo e contribuição na formatação deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa pesquisa.

RESUMO

SÁ, José Alfredo Guimarães de. **Análise de Valor e Avaliação do Ciclo de Vida: Bases para um Modelo de Apoio à Decisão para Aproveitar Rejeitos de Pedreiras**. 2003. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

A procura por novos materiais tem sido um desafio constante para a humanidade, principalmente no mundo de hoje onde se buscam modelos de produção sustentáveis, ou que agridam menos o meio ambiente. No caso dos bens minerais, principalmente aqueles utilizados pela construção civil como a areia, não tem sido diferente, e inúmeras pesquisas têm sido feitas na busca de produtos substitutos que desempenhem as mesmas funções que o produto original.

Entretanto, os trabalhos até então realizados, que enfocam mais os aspectos normativos, não fazem uma avaliação econômico adequada, desprezam os aspectos funcionais e ambientais decorrentes da produção, usos e descarte do produto. É nesse contexto que ferramentas, como a Análise do Valor e Avaliação do Ciclo de Vida, tornam-se interessantes no desenvolvimento de um modelo que dê suporte à decisão de produzir um produto alternativo a outro que execute as mesmas funções, no caso em questão a areia industrial. Tal ação pode contribuir para o desenvolvimento sustentável e também levar os profissionais das áreas envolvidas a pensarem de maneira sistêmica.

Com intuito de contribuir para essa consciência, o presente trabalho visa o desenvolvimento de um modelo, que dê suporte à decisão de produzir areia industrial a partir dos rejeitos de pedreiras, baseado na Análise de Valor e Avaliação do Ciclo de Vida, não desprezando os aspectos normativos para os usos dos agregados miúdos.

Palavras Chaves – Análise de Valor (AV), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Areia Industrial.

ABSTRACT

Sá, José Alfredo Guimarães de. **Value Analysis and Life Cycle Assessment: Basis for a supporting decision's model that uses to advantage mining scraps.** 2003. 127p. Essay (Masters in Production Engineering). Production Engineering Post Graduation Program, UFSC, Florianópolis.

The search for new compounds has been challenging humanity, especially when it comes to nowadays, that what we are looking for are sustainable production models which can cause less damage to the environment. When the subject comes to minerals, mainly those used by Building Industry, like sand, that is not different, and lots of researches have been developed to find products that could work in charge of the original ones.

However, these researches point more to normative specifications, without precise an adequate economic valuation, forgetting the functional aspects of the product and the environmental damage caused in its production. That is where Life Cycle Assessment and Value Analysis could be inserted, developing a model that could support the decision of producing alternatives to the actual product. This alternative product could execute the same functions as the original one, in this case, sand. The mentioned action could contribute to sustainable development and furthermore take related professionals to the domain of systemic thoughts.

The current work aims the application of Value Analysis(VA) and Life Cycle Assessment(LCA) to establish a model that could support the production of industrial sand from mining scraps, considering all the normative aspects of this issue.

Key Words – Value Analysis (VA), Life Cycle Assessment (LCA), Industrial Sand.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	18
1.1 Apresentação do problema	18
1.2 Objetivos do trabalho	21
1.3 Resultados esperados	21
1.4 Estrutura do trabalho	22
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTACÃO TEÓRICA	23
2.1 A Exploração dos Recursos Naturais e a Preservação Ambiental	23
2.1.1 O Capital Natural e Ecologia Industrial	23
2.1.2 Sociedade e Desenvolvimento Sustentável	25
2.1.3 O Valor do Capital Natural	27
2.2 O Conceito de Valor e sua Importância	28
2.3 A Análise do Valor do Processo e Produto	33
2.4 Custos e Benefícios de Processos	35
2.4.1 Avaliação de Custos e Benefícios	37
2.5 Eficiência e Desperdício de Processos	39
2.6 A Problemática sob a Ótica da Ecologia Industrial	41
2.6.1 O Conceito de Balanço	42
2.6.2 Medidas Quantitativas no Ciclo Ecológico	42
2.7 A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	43
2.7.1 Auditoria de Produtos e Processos como Estágio da Análise Inventarial na ACV	47
2.7.2 Matrizes para Auditoria de Produtos e Processos	48

2.7.3	Modelos de Matrizes para Inventariar Produtos e Processos	49
2.8	Capital Natural, a Exploração dos Recursos Naturais e a Qualidade Ambiental	51
2.9	Tendências, Necessidades e Exigências Humanas	54
2.9.1	Tendências na Tecnologia	55
2.10	Considerações	56
	CAPÍTULO 3 – ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AREIA NATURAL E AREIA INDUSTRIAL	57
3.1	A Classificação das Areias	57
3.1.1	Propriedades Características dos Agregados Miúdos	57
3.1.2	Índices de Qualidade dos Agregados Miúdos	58
3.1.2.1	Efeitos da Matéria Orgânica	58
3.1.1.2	Efeitos da Argila e Materiais Friáveis	59
3.2	Areia Natural	59
3.2.1	Qualidade e Características Tecnológicas Exigidas e Apresentadas pela Areia Natural	60
3.2.2	Avaliação dos Impactos Ambientais na Produção de Areia Natural	61
3.2.3	Os Custos na Obtenção da Areia Natural	62
3.2.3.1	Os Custos da Dragagem para a Produção de Areia Natural	63
3.2.3.2	A Escavação para a Produção de Areia Natural e seus Custos	64
3.3	Areia Industrial	65
3.3.1	Os Processos de Produção de Areia Industrial	66
3.3.2	Características Tecnológicas, Qualidade Exigidas e Apresentadas pela Areia Industrial	67
3.3.3	Avaliação dos Impactos Ambientais na Produção de Areia Industrial	68
3.3.4	Os Custos na Produção de Areia Industrial	69

3.4	Benefícios dos Usos da Areia Industrial	71
3.4.1	Estudos de Viabilidade Técnica	71
3.4.1.1	Aspectos Positivos da Produção de Areia Industrial	71
3.4.1.2	Aspectos Negativos da Produção de Areia Industrial	72
3.4.2	Os Custos Ambientais – Externalidades e Financeiros	73
3.4.3	As Implicações do aproveitamento do Pó-de-Pedra para Obter Areia Industrial	75
3.4.3.1	Implicações Econômicas para o Processo de Produção de Brita	75
3.4.3.2	As Implicações da Produção de Areia Industrial para o Uso Racional de Energia	78
3.4.3.3	As Implicações da Produção de Areia Industrial para o Meio Ambiente	79
3.4.3.4	As Implicações da Produção de Areia Industrial para a Qualidade das Argamassas e Concretos	81
3.5	Considerações	82
CAPÍTULO 4 – O MODELO PROPOSTO		84
4.1	Aspectos Gerais do Modelo	84
4.2	A Análise de Valor Aplicada à Produção de Areia	84
4.2.1	Fase de Preparação	86
4.2.2	Fase de Informação	87
4.2.3	Fase de Análise	87
4.2.4	Fase de Criatividade	89
4.2.5	Fase de Desenvolvimento	91
4.3	A Estrutura do Modelo Proposto	92
4.3.1	A Análise Funcional das Areias Natural e Industrial	93
4.3.1.1	A Análise Funcional da Areia Natural	94

4.3.1.2	A Análise Funcional da Areia Industrial	97
4.3.1.3	Os Atributos de Qualidade Exigidos do Agregado Miúdo e as Funções	100
4.3.2	Estudo Comparativo dos Custos de Produção	106
4.3.2.1	Os Custos de Produção da Areia Natural	107
4.3.2.2	Os Custos de Produção da Areia Industrial	108
4.3.3	A Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada à Produção de Areia	108
4.3.3.1	Um Exemplo de Matriz para o Processo Produtivo de Areia Natural	109
4.3.3.2	Um Exemplo de Matriz de Impacto Ambiental para Areia Natural	110
4.3.3.3	Um Exemplo de Matriz de Impacto Político-Social para Areia Natural	111
4.3.3.4	Um Exemplo de Matriz para o Processo Produtivo de Areia Industrial	111
4.3.3.5	Um Exemplo de Matriz de Impacto Ambiental para Areia Industrial	112
4.3.3.6	Um Exemplo de Matriz de Impactos Político-Social para Areia Industrial	113
CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO		115
5.1	Considerações Iniciais	115
5.1.1	O Setor Produtivo de Areia em Goiás e Distrito Federal	115
5.1.2	A Pedreira Anhangüera e a Redimix	117
5.1.3	O Processo Produtivo da Empresa	119
5.2	A Aplicação da Análise de Valor no Produto da Empresa	121
5.2.1	A Análise Funcional da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera	121
5.2.2	Relação entre os Atributos de Qualidade e as Funções Exigidas	123
5.2.3	Os Custos de Produção da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera	127
5.3	A Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada ao Processo da Pedreira Anhangüera	129
5.3.1	Um Balanço de Massa e Energia do Processo da Pedreira Anhangüera	129
5.3.1.1	Cálculo das Eficiências de Extração do Processo	129
5.3.1.2	Cálculo da Eficiência no Uso de Energia	132

5.3.2	A Utilização de Matrizes de Avaliação para o Processo da Pedreira Anhangüera	133
5.3.2.1	A Matriz de Avaliação para o Processo Produtivo da Pedreira Anhangüera	133
5.3.2.2	A Matriz de Impacto Ambiental para a Pedreira Anhangüera	134
5.3.2.3	A Matriz de Impacto Político-Social para a Pedreira Anhangüera	135
5.4	Pontos Fortes e Limites do Modelo	136
5.4.1	Pontos Fortes do Modelo	136
5.4.2	Limites do Modelo	138
	CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	139
6.1	Conclusões	139
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	141
	REFERÊNCIAS	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Interações indústria – meio ambiente x escala do tempo	24
Figura 2.2 – Interações indústria – meio ambiente	44
Figura 2.3 – Fases da ACV segundo a ISO 14040	45
Figura 2.4 – Etapas de Avaliação do Ciclo de Vida de um Produto	45
Figura 2.5 -Elementos de uma Análise Inventarial da Avaliação do Ciclo de Vida	46
Figura 2.6 – Uma Visão Geral da ACV – Comparando Produtos e Processos	47
Figura 2.7 – Esquema de uma Análise Inventarial de Processos	48
Figura 2.8 – Tipos de Registros para as Matrizes de Avaliação	49
Figura 2.9 – Um exemplo de Quadro-Matriz Comparativo	50
Figura 3.1 – Principais Subprocessos Envolvidos na Obtenção de Areia Natural por Dragagem	63
Figura 3.2 – Correlação entre as Atividades e os Custos no Processo de Obtenção de Areia Natural	64
Figura 3.3- Correlação entre as Atividades e os Custos do Processo de Obtenção de Areia Natural por Escavação Direta	65
Figura 3.4 - Impactos Gerados pelas Atividades Produtoras de Brita /Areia Industrial	69
Figura 3.5 – Subprocessos Envolvidos na Obtenção de Areia Industrial por Britagem de Rocha	70
Figura 3.6 – Correlação entre as Atividades e os Custos no Processo de Obtenção de Areia Industrial	70
Figura 4.1 – Quadro Resumo das Etapas da Análise do Valor	85
Figura 4.2 – Índice de Valor x Função	88
Figura 4.3 – Quadro para a Determinação do Índice de Valor	89
Figura 4.4 – Modelo de Diagrama FIRE	90
Figura 4.5 – Fluxograma das Ações para dar Suporte à Decisão de Produzir Areia Natural ou Industrial	93

Figura 4.6 – Diagrama FAST das Funções da Areia Natural para a Produção de Argamassa para Assentamento	95
Figura 4.7 – Diagrama FAST das Funções da Areia Natural para a Produção de Argamassa para Reboco	96
Figura 4.8 – Diagrama FAST das Funções da Areia Natural para a Produção de Concreto	96
Figura 4.9 – Diagrama FAST das Funções da Areia Industrial para a Produção de Argamassa para Assentamento	98
Figura 4.10 – Diagrama FAST das Funções da Areia Industrial para a Produção de Argamassa para Reboco	98
Figura 4.11 – Diagrama FAST das Funções da Areia Industrial para a Produção de Concreto	99
Figura 4.12– Diagrama de Mudge para as Funções da Areia na Argamassa para Assentamento	101
Figura 4.13 – Correlação entre o Grau de Importância (GI) da Função e o Atributo de Qualidade do Agregado para Produzir Argamassa para Assentamento	101
Figura 4.14– Diagrama de Mudge para as Funções da Areia na Argamassa para Reboco	103
Figura 4.15 – Correlação entre o Grau de Importância (GI) da Função e o Atributo de Qualidade do Agregado para Produzir Argamassa para Reboco	104
Figura 4.16 – Diagrama de Mudge para as Funções da Areia no Concreto	105
Figura 4.17 – Correlação entre o Grau de Importância (GI) da Função e o Atributo de Qualidade do Agregado para Produzir Concreto	106
Figura 4.18 – Matriz de Impacto do Processo Produtivo para Areia Natural – Estágio de Vida = Produção	110
Figura 4.19 – Matriz de Impacto Ambiental do Processo Produtivo para Areia Natural – Estágio de Vida = Produção	110
Figura 4.20 – Matriz de Impacto Político-Social do Processo Produtivo para Areia Natural – Estágio de Vida = Produção	111
Figura 4.21 - Matriz de Impacto do Processo Produtivo para Areia Industrial – Estágio de Vida = Produção	112
Figura 4.22 – Matriz de Impacto Ambiental do Processo Produtivo para Areia Industrial – Estágio de Vida = Produção	112

Figura 4.23 – Matriz de Impacto Político-Social do Processo Produtivo para Areia Industrial – Estágio de Vida = Produção	113
Figura 4.24 – Exemplo de Quadro – Matriz Sumário	114
Figura 5.1 – Aspectos Gerais da Empresa Pesquisada	118
Figura 5.2-Fluxograma Simplificado do Processo Produtivo da Pedreira Anhangüera	120
Figura 5.3 – Diagrama FAST das Funções da Areia Industrial para a Produção de Concreto	121
Figura 5.4 – Diagrama de Mudge para as Funções da Areia Industrial no Concreto	122
Figura 5.5 – Correlação entre o Grau de Importância (GI) das Funções e Atributos de Qualidade do Agregado	124
Figura 5.6 – Os Custos dos Subprocessos e Global da Produção de Areia Industrial da Pedreira Anhangüera	128
Figura 5.7 - Matriz de Impacto do Processo Produtivo da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera – Estágio de Vida = Produção	133
Figura 5.8 - Matriz de Impacto Ambiental do Processo Produtivo da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera – Estágio de Vida = Produção	134
Figura 5.9 - Matriz de Impacto Político-Social do Processo Produtivo da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera – Estágio de Vida = Produção	135
Figura 5.10 – Exemplo de Quadro-Matriz Sumário para o Processo da Pedreira Anhangüera	135
Figura 5.11 – Quadro Comparativo entre a ACV e AV	136

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

ABC = Custeio Baseado na Atividade

ABEAV = Associação Brasileira de Engenharia e Análise de Valor

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACB = Análise Custo Benefício

ACV = Avaliação do Ciclo de Vida

ANF = Análise Numérica Funcional

ARF = Análise Randômica das Funções

AV = Análise do Valor

CEE = Comissão Econômica Européia

CF = Custos das Funções

CPDS = Comissão de Política de Desenvolvimento Econômico

DNPM = Departamento Nacional da Produção Mineral

EI = Ecologia Industrial

EQQC = Organização Européia de Controle de Qualidade

EV = Engenharia do Valor

FAST = Técnica de Análise Funcional de um Sistema

ISO = International Organization for Standardization

IV = Índice de Valor

NBR = Normas Brasileiras de Referência

ONU = Organização das Nações Unidas

PGR = Programa de Gerenciamento de Riscos

PNUMA = Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PT = Plano de Trabalho

SAVE = Sociedade Americana do Valor Econômico

TQC = Total Quality Control

VC = Valor de Custo

VE = Valor Econômico

VERA = Valor Econômico de Recurso Ambiental

VET = Valor Econômico Total

VNU = Valor de Não Uso

VO = Valor de Opção

VT = Vertical Shaft Impactor (Britador de Impacto Vertical)

VT = Valor de Troca

VUD = Valor de Uso Direto

VU = Valor de Uso

WCED = Conselho Mundial de Desenvolvimento Econômico

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação do Problema

A indústria mineral tem como característica básica a execução de processos e atividades geradoras de resíduos que provocam danos ambientais diretos.

Um dos grandes desafios, para as empresas e especialistas, é desenvolver métodos e conciliar a extração de recursos naturais com a preservação do meio ambiente. Neste sentido, têm surgido alternativas que envolvem o aproveitamento de resíduos/rejeitos de minas para produzir produtos substitutos. Estas alternativas tornam-se economicamente interessantes, pois além de contribuir para a redução dos impactos ambientais, podem agregar valor à produção de um outro produto, também contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

No caso específico da areia, de grande importância como insumo para indústria da construção civil, tanto na produção de argamassas, quanto na de concretos, sua produção é ambientalmente problemática. A obtenção de areia pode ocorrer através da dragagem de depósitos de leitos de rios (aluviões), por escavações mecânicas de depósitos de solos residuais derivados de alteração físico-química de rochas, ou por desmonte hidráulico destas acumulações com posterior dragagem e armazenamento em cavas. Outra fonte é via o aproveitamento dos resíduos (rejeitos) de pedreiras produtoras de brita para a produção de areia industrial.

Os três primeiros processos citados apresentam impactos significativos e de razoável extensão, com danos na maioria das vezes irreversíveis. Estas atividades, mesmo que sejam legalizadas, não deixam de ser degradantes ou agressivas ao meio ambiente.

Dentre os impactos ambientais identificados nas áreas de extração de areia natural, destacam-se a perda da biodiversidade, o comprometimento do regime de vazão dos cursos d'água, além do assoreamento dos mesmos pela destruição das margens e matas ciliares. Estes impactos são reconhecidos como redutores da qualidade ambiental.

Uma possibilidade para evitar esses impactos seria não produzir areia por processos de dragagem em leitos dos rios ou escavações. Porém, as consequências sociais, tecnológicas e econômicas seriam significativas, visto que, de acordo com o Departamento Nacional da Produção Mineral em Goiás-DNPM (2002), 80% das unidades produtoras são constituídos de pequenos ou micro-empresários. Estas unidades respondem por mais de 90% da produção de areia no estado e em geral empregam de 4 a 5 pessoas.

Segundo dados do DNPM (2002), existem no estado de Goiás 443 atividades de extração de areia, devidamente legalizadas, inclusive com licença ambiental, além de 55 em vias de legalização. Estas licenças permitem que as empresas explorem áreas com até 50 hectares, significando que atualmente existe um potencial de degradação de 24.900 hectares somente de matas ciliares.

Neste cenário, surge como alternativa a produção de areia industrial, que tanto pode ser obtida pela britagem direta de rochas, como pelo aproveitamento dos rejeitos de pedreiras, apesar do mercado ainda apresentar uma certa rejeição a esse produto.

Caçavana (2000), abordando a problemática da produção e geração de rejeitos nas unidades produtoras de brita, que pode corresponder a 50% da produção, chama a atenção que, apesar de algumas restrições, este material poderia ser aproveitado para a produção de areia industrial como substituto à areia natural, tanto para a produção de concreto estrutural, quanto para a produção de outras argamassas. Entretanto, o mesmo autor afirma que esta substituição apesar de ser viável tem custo elevado, embora não apresente argumento que confirme essa conclusão.

Estudos técnicos como os de Angelim (2000) e Silva (2000), apontam para as questões como qualidade e custos como entraves para o não aproveitamento das areias industriais em substituição às naturais.

Caçavana (2000) apresenta ainda outros argumentos como, o encarecimento do concreto pela adição de insumos e também as exigências de condições para se produzir areia industrial, como água em abundância, grandes áreas para depósitos de lama e bombas para recirculação de água e polpa.

Neves (2000) cita que o aproveitamento da areia industrial só não é maior porque esta, quando derivada da britagem de rocha, apresenta custo de produção até três vezes superior à produção de brita. Entretanto, ressalta que um fator importante é a inadequação desse material às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que regulam o uso de agregados miúdos, que por datarem da década de 80, são incompatíveis à realidade de hoje, pois não descrevem o estágio atual das granulometrias disponíveis no mercado, nem abordam a questão dos custos ambientais. Como consequência, não se produz o material e o consumidor final tem dificuldade em encontrar areia industrial em quantidade e de qualidade que atendam suas necessidades.

As referências anteriores estão associadas ao crescimento no consumo da areia industrial motivado pela perspectiva de escassez do produto natural, o aumento da distância das fontes de areia aos centros consumidores e as restrições ambientais.

Dados do Departamento Nacional da Produção Mineral -DNPM (2001), indicam que o consumo da areia industrial produzida a partir dos finos da britagem, em São Paulo, apresenta um incremento de 1% ao ano, tendo chegado em 2000 a 10% do mercado. Estes dados sugerem uma tendência de crescimento no consumo deste produto, indicando um aumento da competitividade da areia industrial pelo menor custo com o transporte (que pode corresponder a 2/3 dos custos finais do produto), em razão da proximidade das pedreiras com os centros consumidores.

Os números apresentados são por si só significativos e, a possibilidade de aproveitar rejeitos de pedra para produzir areia industrial, traz a possibilidade de agregar valor às unidades produtoras de brita, com ganhos financeiros, sociais e ambientais, com custos possivelmente menores que os relacionados à produção de areia natural.

Em Goiás, que juntamente com o Distrito Federal é o sexto estado na produção de agregados, não há números relativos a produção de areia industrial. Entretanto, são conhecidas experiências positivas de algumas empresas produtoras de concreto industrial, como a REDIMIX, que consorciada com pedra, está utilizando areia industrial na produção de concretos, com custos mais baixos que aqueles relacionados à produção desse produto com areia natural.

Este exemplo, assim como o da Unidade Itapevi da Embu S.A. Engenharia e Comércio de São Paulo (Gonçales et al, 2000), indicam que a substituição da areia natural por areia industrial, derivada do rejeito de brita, é tecnologicamente viável e, que este subproduto mineral pode ser aproveitado, gerando uma série de benefícios para a empresa e os seus *stakeholders*.

Na literatura faltam estudos que dêem suporte à decisão de produzir areia industrial, ou que demonstrem a viabilidade econômica para utilização desse material, ou ainda, cultura no aproveitamento do produto.

Caçavana (2000) aponta também como entrave à produção de areias industriais, a existência de reservas ainda exploráveis de areia natural, mesmo que no limite de economicidade pela distância das áreas produtoras aos centros consumidores.

Estas questões são relevantes, porém a possibilidade da exaustão das fontes de areia natural mais próximas, associada aos impactos ao meio ambiente que a produção de areia natural provoca e leis ambientais cada vez mais restritivas às atuais formas de exploração, poderá levar ao aproveitamento progressivo das areias industriais com economicidade.

Em face ao exposto pode-se formular a seguinte pergunta de pesquisa: a areia industrial apresenta as mesmas funções e custos que a areia natural e pode ser um produto economicamente viável como insumo para indústria da construção civil?

1.2 - Objetivos do Trabalho

O objetivo geral é desenvolver um modelo que dê suporte à decisão de produzir areia industrial como produto alternativo à areia natural.

Para isso, alguns objetivos específicos devem ser alcançados, entre os quais:

- Estabelecer parâmetros para a avaliação ambiental da extração da areia natural em comparação à produção da areia industrial, com levantamento dos custos decorrentes de cada atividade;
- Determinar os elementos para uma avaliação econômica da extração da areia natural comparada a produção da areia industrial e;
- Determinar os parâmetros necessários para a avaliação técnica do uso da areia industrial, de acordo com as normas da ABNT, estimando os possíveis ganhos decorrentes deste uso.

1.3 - Resultados Esperados

Com o desenvolvimento do trabalho, espera-se contribuir com um referencial teórico que aborde o tema de maneira sistêmica, bem como para a disseminação de uma cultura de aproveitamento dos rejeitos de pedreiras como produto substituto à areia natural, demonstrando os benefícios que podem advir dessa prática com a agregação de valor à produção de pedreiras de qualquer porte.

Espera-se também fornecer instrumentos de avaliação que permitam aproveitar rejeitos provenientes de processos de produção de recursos naturais não renováveis, com ganhos sociais e financeiros, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da sociedade como um todo, conforme abordagem contida no conceito de “Ecologia Industrial” proposto por Gradel e Allenby (1995). Produzir de maneira sustentável, valorando os recursos naturais envolvidos, reduzindo impactos ambientais e agregando valor, é compatível com todos estes conceitos.

1.4 – Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos.

O Capítulo 2 descreve os conceitos e as ferramentas que podem ser utilizadas para abordar a problemática e respectivas interfaces sob a ótica da Análise do Valor/Engenharia do Valor e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos e processos, traçando um paralelo entre os temas gerais e a questão em si.

O Capítulo 3 apresenta um estudo comparativo entre as produções de areia natural e industrial.

O Capítulo 4 apresenta o modelo desenvolvido, utilizando conceitos de análise de valor e avaliação do ciclo de vida, de produtos e processos, adaptadas ao tema proposto, ressaltando seus pontos fortes e fracos.

O Capítulo 5 apresenta a aplicação do modelo, discute os resultados obtidos e os pontos fortes e limites do modelo proposto.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões, bem como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho tem como base os conceitos de análise do valor, custos, eficiência e desperdício de processos, além dos conceitos de avaliação do ciclo de vida, que permitirão comparar os produtos e os processos de produção da areia natural e industrial/artificial.

2.1. A Exploração dos Recursos Naturais e a Preservação Ambiental

2.1.1 - O Capital Natural e Ecologia Industrial

Entende-se por capital natural, todos os recursos naturais utilizados pela humanidade, tais como água, minérios, petróleo, os animais, o solo, o ar, os ecossistemas, etc.

Recentemente, conforme referencia Hawkeen et al (1999), calculou-se que, o estoque do capital natural no mundo, vale algo em torno de 36 trilhões de dólares anuais, que é próximo do PIB mundial de 39 trilhões de dólares. Entretanto, segundo Motomura, citado por Hawkeen et al (1999), existem enormes desperdícios no sistema que tornam o custo da revolução industrial altíssimo.

Estes autores observam que se destruiu mais a natureza, a partir da metade do Século XVIII, que em todos os períodos anteriores da história da humanidade e o capital acumulado pelo homem se deu em função de perdas do capital natural, do qual depende a prosperidade da civilização.

Diante dessas perdas, Hawkeen et al (1999), vislumbram um cenário de escassez num futuro próximo, mesmo que os preços da maioria das matérias primas venham declinando e os víveres sejam baratos e pareçam abundantes. Essas perdas, associadas aos danos ao meio ambiente, raramente são calculadas em termos de valor monetário e não são computadas nos custos de produção.

Segundo Hawkeen et al (1999), esta forma de exploração, “é uma aberração lucrativa e insustentável do desenvolvimento humano e não é coerente aos princípios de contabilidade atual, pois líquida o capital e chama isso de renda, além de não atribuir valor ao mais importante capital que emprega, os recursos naturais”.

Para Hawkeen et al (1999), no modelo industrial padrão, a criação do valor é apresentada como uma seqüência linear de extração, produção e distribuição: que se traduz – “entra natureza (à esquerda), saem detritos (à direita)”. Esta visão de criação de valor não é

imune a críticas, pois encarar o processo econômico como um fluxo incorpóreo e circular de valor entre a produção e o consumo é, segundo o economista Herman Daly, citado por Hawkeem et al (1999), o mesmo que tentar compreender um animal somente em termos do seu sistema circulatório.

Ainda segundo Hawkeem et al (1999), esta forma de exploração do capital natural está impondo altos custos, mesmo que os sistemas contábeis e teorias econômicas tentem mostrar o contrário, ou que os problemas relativos ao capital natural não são graves. O economista Robert Repetto (apud Hawkeem et al, 1999), vai mais longe:

“ Pelo sistema atual de contabilidade nacional, um país pode esgotar seus recursos naturais, destruir todas as florestas, erodir o solo, poluir os lençóis d’água e exterminar os animais silvestres e peixes; mesmo assim sua renda nacional não será afetada enquanto estes ativos estiverem desaparecendo[....] O resultado pode ser ganhos ilusórios em renda e perdas permanentes em riqueza”.

Outra maneira de ver a questão é a de Graedel e Allembly (1995), que analisam as interações indústria – meio ambiente em três escalas de tempo: uma do passado, onde a principal preocupação era com as ações corretivas, como por exemplo à destruição do lixo; a atual ou presente, muito presa a regulamentos e preocupada com a prevenção de erros óbvios do passado, com a minimização de lixos, emissões para a água, ar e solo; e uma terceira escala, focada no futuro, onde os produtos e processos hoje criados irão ditar uma grande fração das interações indústria – meio ambiente para as próximas décadas, como na figura 2.1.

Atividade	Tempo focado
Remediação	Passado
Tratamento, armazenagem e deposição	Presente
Ecologia Industrial	Futuro

Figura 2.1 – Interações indústria - meio ambiente x escala do tempo. (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

Para Graedel et al (1995), do mesmo modo que Hawkeem et al (1999), grande parte das atividades sociais estão envolvidas numa atividade industrial e apresentam relações com o meio ambiente e, da mesma maneira estes autores compartilham a visão de que, a atual forma de exploração dos recursos naturais é insustentável.

Segundo Graedel e Allembly (1995) e Hawkeem et al (1999), esta forma de explorar os recursos naturais, normalmente tem, a médio e longo prazos, conseqüências como, a escassez de recursos e danos ambientais muitas vezes irreversíveis. Assim, torna-se imperativa a busca do desenvolvimento sustentável que pode ser centrado nos princípios da “Ecologia

Industrial”(EI), como propõem Graedel e Allembly (1995), ou ainda nos princípios do “Capitalismo Natural” de Hawkeen et al (1999).

Graedel e Allembly (1995), definem “Ecologia Industrial” como o meio pelo qual a humanidade pode, deliberadamente e racionalmente, abordar e manter a capacidade de evoluir econômica, cultural e tecnologicamente de forma desejável. Este conceito necessita que o sistema industrial não seja visto isoladamente do seu meio circundante, mas sim como um sistema que procure tornar mais eficaz o ciclo total dos materiais desde a sua extração como material virgem, até o produto final, onde os fatores a serem otimizados incluem os recursos, a energia e o capital.

Da mesma forma, Hawkeen et al (1999), definem “Capitalismo Natural” como um sistema de exploração diferente, não mecanicista, biológico, natural, que reduz desperdícios e que ao mesmo tempo trabalha com a evolução do meio ambiente. Para esses autores, é um sistema que gera mais valor, mais riqueza, mais lucro, onde a evolução do conhecimento humano é aplicada no jogo ganha-ganha (sociedade e natureza), criando empreendimentos mais sistêmicos, construtivos, ecologicamente responsáveis e ao mesmo tempo mais competitivos.

Graedel e Allembly (1995), advogam que a EI está de acordo com as práticas para o futuro, pois procura guiar a indústria para métodos de custos-efetivos de operações que irão render benefícios de suas interações com o meio ambiente e otimizar todo o processo de fabricação, para o bem geral e financeiro de uma organização. A meta é tomar uma decisão industrial hoje, que irá ser vista como positiva daqui há vinte ou trinta anos. Esta abordagem é muito semelhante às propostas de Hawkeen et al (1999) e compatível com os modelos de desenvolvimento sustentável, como será visto a seguir.

Na produção de areia natural, nos moldes atuais, as perdas dos recursos naturais do sistema e a redução da qualidade ambiental não são consideradas. Estas perdas, não contabilizadas nos processos de produção desse insumo, geram um falso valor para o produto e diminuem a capacidade do sistema natural de atender as necessidades das gerações futuras.

2.1.2 - Sociedade e Desenvolvimento Sustentável

Manter os recursos naturais intocáveis é utópico e, estabelecer um modelo de desenvolvimento, onde os recursos de hoje possam continuar disponíveis para as gerações futuras é o grande desafio que a humanidade enfrenta, conforme estabelece a Agenda 21 (2000). Em alguns setores, como na produção de bens minerais e especificamente na

produção de areias naturais, este desafio é ainda maior, pois não só os problemas ambientais são relevantes, como a perspectiva de exaustão deste recurso natural é real.

O modelo, denominado “desenvolvimento sustentável”, foi consolidado como diretriz para a mudança de rumos do desenvolvimento global, por 179 países na Conferência da Organização das Nações Unidas – ONU, sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992. Esta conferência aprovou a Agenda 21, que contém uma série de compromissos acordados pelos países signatários, onde a incorporação dos princípios de desenvolvimento sustentável nas suas políticas públicas é o grande desafio.

Na Agenda 21 brasileira, seis temas foram definidos e entre eles estão a gestão dos recursos naturais e ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, descobrir qual o melhor caminho a ser seguido por um país como o Brasil, onde as condições regionais são específicas é um grande desafio.

Graedel e Allembly (1995) trazem o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”, como definido pelo Conselho Mundial de Desenvolvimento Econômico (WCED): “O desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades” (WCED,1987).

Segundo a Agenda 21 Brasileira (2000), o conceito de desenvolvimento sustentável apresenta múltiplas dimensões e incorpora outros aspectos das relações sociais e dos indivíduos com a natureza, onde as sustentabilidades, ecológica, ambiental e econômica, são consideradas. Na prática, isto implica em mudanças de hábitos de consumos e comportamentos, necessários para que se atinja a sustentabilidade.

No entanto, hoje se vive num ambiente onde o desenvolvimento tecnológico que se acelerou e cresceu com a revolução industrial, trouxe poluição, degradação e depleção dos recursos naturais, indicando o esgotamento deste modelo (Agenda 21 Brasileira, 2000). É neste contexto, que emerge a sustentabilidade como resposta às concepções de desenvolvimentos enquadradas na lógica da racionalidade econômica. Esta lógica que subjuga o social, o político e a natureza, esquece que a atividade econômica não se desenvolverá sem uso do chamado “capital natural”, que lhe fornece recursos materiais e energéticos.

Tal pensamento, significa que a eficiência econômica não pode mais ser calculada baseada “apenas nos critérios de ganho de produtividade, e sim na capacidade de satisfazer necessidades das pessoas ao menor custo ecológico e humano”, como estabelece a Agenda 21 Brasileira (2000). Isto sugere uma revisão nos conceitos de produção e consumo.

Superar estes conflitos, mudar paradigmas de produção e consumo, além de encontrar mecanismos capazes de conduzir a sustentabilidade, através do desenvolvimento de

tecnologias limpas e de indicadores ambientais, indispensáveis ao processo de ampliação da sustentabilidade, são exigências a serem superadas, conforme estabelece a Comissão de Política de Desenvolvimento Sustentável (CPDS) da Agenda 21 Nacional (2000).

No tocante a ciência e tecnologia, Graedel e Allembly (1995), fazem referência ao encontro da Comissão Econômica Européia (CEE) em 1992, onde a transformação tecnológica foi descrita como um processo de cinco estágios, conforme discriminados a seguir:

- Estágio 1 – Ignorância: os problemas ambientais são desconhecidos;
- Estágio 2 – Perda de Interesse: os problemas ambientais são conhecidos, mas as pessoas não cuidam deles;
- Estágio 3 – Dependência Tecnológica: as pessoas têm esperança que novas tecnologias irão resolver todos os problemas ambientais;
- Estágio 4 – Em direção à Sustentabilidade: conversão das ações sociais em direção ao desenvolvimento mais adaptado ambientalmente;
- Estágio 5 – Absoluta Sustentabilidade: o ciclo ecológico é considerado um ciclo fechado.

Analisando estes estágios, se constata que, apesar das propostas contidas na Agenda 21 brasileira, poucos avanços foram obtidos por aqui, indicando que existe um longo caminho para ser percorrido. Valorar o capital natural, ou atribuir valor aos recursos naturais, como propõem Hawkeen et al (1999), ou às funções que estes desempenham pode ser um passo importante para o cumprimento das propostas da Agenda 21.

2.1.3 - O Valor do Capital Natural

O valor de US\$ 36 trilhões de dólares anuais para o capital natural, foi definido, segundo Hawkeen et al (1999), considerando os gastos mundiais com regulamentações sobre gases atmosféricos e redução das emissões nocivas, calculadas em 1,3 trilhões de dólares; somados aos 2,3 trilhões de dólares do fluxo de nutrientes e 2,8 trilhões de dólares com armazenagem e purificação de água; além da contribuição das florestas e pântanos com 12,3 trilhões de dólares. Estas cifras, segundo Hawkeen et al (1999), indicam que o valor de todos os sistemas terrestres ultrapassa 1.150 dólares por hectare, considerando somente aquilo que foi levado ao mercado, não sendo contabilizados os sistemas que sustentam a vida.

Não obstante, os governos, tanto dos países desenvolvidos, quanto dos subdesenvolvidos, continuam utilizando métodos contábeis que consideram a exploração dos recursos naturais como ganhos líquidos e não como perdas líquidas. No Brasil, na análise

econômica de projetos que envolvam os recursos minerais, os sistemas de contabilidade somente consideram como perda a taxa de exaustão, não observando outras perdas, como por exemplo as ambientais.

No caso da produção de agregados a questão é mais complexa, pois, além da perda ambiental sequer ser contabilizada, a taxa de exaustão é considerada apenas na produção de agregados graúdos (britas), sendo completamente ignorada na produção de areia. Com isso, não se conhece o real valor da areia produzida.

2.2 - O Conceito de Valor e sua Importância

Valor, conforme define o dicionário Aurélio, é o “equivalente justo em dinheiro, mercadoria etc., especialmente de coisa que pode ser comprada ou vendida”. Esta definição é quase uma tradução literal da contida no *Webster's New World Dictionary* que diz: “um equivalente em dinheiro, justo ou apropriado, por alguma coisa à venda”.

Para Tucker (1996) valor é a combinação de três fatores: qualidade, serviço e preço e, se os produtos ou serviços de uma empresa atendem às necessidades de um comprador e este considera justo o preço pedido, pode-se dizer que o negócio produziu valor para o comprador.

Segundo Pereira Filho (1994), a palavra valor tem diversos significados, sendo normalmente confundida com custo e preço. A questão é antiga e conforme cita esse autor, Aristóteles, por volta do ano 350 a.C. identificava e reconhecia sete tipos de valor:

- Valor econômico;
- Valor político;
- Valor moral;
- Valor estético;
- Valor social;
- Valor jurídico e;
- Valor religioso.

Desses, somente o valor econômico pode ser mensurado quantitativamente restando aos demais avaliações subjetivas. Por este motivo, é no valor econômico que se dará enfoque, sendo necessário para isto, estudá-lo do ponto de vista de seus elementos constituintes.

A ciência econômica subdivide o valor econômico em três valores básicos: valor presente, valor potencial e valor futuro, e considera que o mesmo é atribuído “a todas as coisas que podem representar interesse econômico para o homem, ou possam ser avaliadas” (Possamai, 2000).

O valor presente, por ser parte das relações existentes entre o produtor e o mercado consumidor, pode ser medido, sendo representado por bens e serviços que interessam e satisfazem as necessidades atuais do homem.

Os valores futuro e potencial apresentam dificuldades para suas medições, em função das constantes mudanças das necessidades humanas, tornando-se difícil determinar se algum bem ou serviço será importante ou necessário no futuro. Autores como Csilag (1995), Pereira Filho (1994), entre outros, consideram que o valor presente é formado por quatro tipos de valor, que são:

- Valor de uso (VU);
- Valor de estima (VE);
- Valor de custo (VC) e;
- Valor de troca (VT).

Considerando estes quatro tipos, pode-se determinar uma relação direta entre o valor presente e os valores de uso (VU), estima (VE) e troca (VT), o que significa que maior será o valor presente de um determinado objeto se maiores forem os valores de uso, troca e estima e, uma relação inversa entre aquele e o valor de custo (VC), significando que quanto maior for o valor de custo, menor será o valor econômico do objeto. Assim o valor econômico pode ser representado pela seguinte equação:

$$V_E = \frac{\text{VALOR DE USO} + \text{VALOR DE ESTIMA} + \text{VALOR DE TROCA}}{\text{VALOR DE CUSTO}} \quad (1)$$

Conforme Pereira Filho (1994), a identificação dos elementos que compõem o valor, leva em consideração a relação fornecedor-consumidor. Isto significa que o conceito de valor deve ser visto sob a ótica do fornecedor (produtor) e do consumidor, julgando o empresário o valor, pela quantidade de dinheiro obtido com a venda de seus produtos, ou seja, do ponto de vista do produtor, que valor é a somatória de custos (C) e lucro (L). Para o consumidor, o valor está relacionado com as funções desejadas (f) do produto, a sua qualidade (Q), quantidade disponível (q) e o preço (p). Estas relações, segundo este autor, faz surgir duas equações de valor, uma para o produtor (V_P) e outra para o consumidor (V_C):

$$V_P = C + L \quad (2)$$

e,

$$V_C = Q + q + f + p \quad (3)$$

Pereira Filho (1994), conclui também que as variáveis, custo (C) e função (f) são as que apresentam menor grau de dependência entre as variáveis constituintes do valor, e por isso define valor como “o mínimo custo para se obter uma função”, estabelecendo uma relação onde:

$$\text{Valor} = \frac{\text{função}}{\text{Custo}} \quad (4)$$

Os valores de uso, estima e troca podem também ser chamados de benefícios e o valor de custo como esforço, o que torna a equação do valor do ponto de vista do fornecedor(produtor) e do consumidor(cliente) também como a seguir:

$$\text{Valor para o consumidor (V}_C) = \frac{\text{BENEFÍCIOS (VU + VE + VT)}}{\text{ESFORÇO (preço de compra,gastos)}} \quad (5a)$$

$$\text{Valor para o produtor (V}_P) = \frac{\text{BENEFÍCIOS (VU + VE + VT)}}{\text{ESFORÇO (custos de produção)}} \quad (5b)$$

Csilag (1995), considera o valor real de “um produto, processo ou sistema como o grau de aceitabilidade de um produto pelo cliente e, portanto, é o índice final de valor econômico”. Esse autor, do mesmo modo que Pereira Filho (1994) associa valor com as funções de um produto ou sistema, estabelecendo uma relação entre o valor de uso e o seu desempenho. Assim, este pode ser representado relacionando a função ao custo:

$$\text{valor} = \frac{\text{função}}{\text{custo}} \quad (4)$$

Quando esta relação é vista sob a ótica do produtor/fornecedor,

$$V_P = \frac{\text{função}}{\text{Custo}} \quad (4a)$$

E quando vista pelo cliente/consumidor,

$$\text{Valor Percebido} = \text{Benefícios Percebidos} / \text{Preço} \quad (4b)$$

Em ambas, percebe-se que o valor pode ser melhorado, quando se aumentam os valores de uso e estima e, diminuindo com um maior do valor de custo. Em outras palavras, o valor pode ser aumentado, melhorando as funções de um produto e que estas sejam percebidas pelo mercado.

Csillag (1995), atribui ainda ao valor, para serviços, produtos, processos e sistemas, definições como: uma estimativa da maneira mais econômica de desempenhar uma função (Sociedade Americana de Valor Econômico - SAVE); uma estimativa idealisticamente baixa de custo para realizar uma função (SAVE); como o custo mais baixo possível de uma função requerida (SAVE); ou ainda a representação do menor gasto necessário para prover a função requerida conforme referencia O'Brien.

De acordo com Basso (apud Tavares Júnior, 1997), seguindo a linha da SAVE, “valor é o menor custo atribuído a um produto ou serviço que deverá possuir a qualidade necessária para atingir a função desejada,” ou ainda, “ a menor quantidade, em dinheiro, necessária para obter um produto ou serviço que satisfaça precisamente uma função”. Esse autor, à semelhança de Pereira Filho (1994) e Csillag (1995), define valor pela expressão matemática, em que este é função das funções (F) e do custo (C), $V = f(F, C)$.

Considerando que o mercado é composto por produtores e consumidores, os valores para o produtor e consumidor guardam entre si uma relação estreita, onde $V_P \cong V_C$. Isto significa que oferecer ao consumidor o melhor valor para o produto é a problemática geral das empresas, onde a relação entre o desempenho e o custo do produto/serviço deve ser a melhor para as partes interessadas (produtor e consumidor).

As considerações sobre valor, dos diversos autores citados, estão corretas quando analisadas sob a ótica econômica. Porém, quando se insere a variável ambiental este conceito deve ser revisto, pois observando as equações (4) e (5) verifica-se que os custos considerados são apenas aqueles internos e inerentes à produção. Nesta linha, considerando o valor de uso (VU) da equação (5), Nogueira e Araújo (2001) propõem a inserção da variável ambiental na análise do valor econômico, a quem denominam Valor Econômico Total (VET), sugerindo que este seja formado pelo somatório do valor de uso (Vu) propriamente dito, o valor de opção (Vo), valor de quase-opção (Vqo) e valor de existência (Ve), conforme a equação (6):

$$VET = Vu + Vo + Vqo + Ve \quad (6)$$

O valor de uso (Vu) refere-se ao uso efetivo ou utilização do bem ou serviço; valor de opção (Vo) refere-se ao valor da disponibilidade do recurso ambiental para uso futuro; valor de quase – opção (Vqo), representa o valor de reter as opções de uso futuro do recurso baseado na expectativa de desenvolvimento tecnológico e científico; o valor de existência (Ve) é o valor intrínseco do bem e independe do uso que possa ter para o ser humano.

Identificar o valor econômico de um recurso ambiental, é segundo Motta (1998) um problema, pois este valor não é observável no mercado através de preços que reflitam seu custo de oportunidade. O mesmo autor observa, que existem atributos de consumo associados à própria existência do recurso ambiental e sugere desagregar o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU). O valor de uso (VU) por sua vez, pode ser desagregado em:

- Valor de Uso Direto (VUD) – quando se utiliza um recurso, por exemplo na forma de extração, visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto;
- Valor de Uso Indireto (VUI) – quando o benefício atual do recurso deriva das funções ecossistêmicas, como por exemplo, a proteção do solo e estabilidade climática, decorrentes da preservação das florestas;
- Valor de Opção (VO) – quando se atribui valor em usos diretos e indiretos que poderão ser obtidos num futuro próximo e cuja preservação pode ser ameaçada. Como exemplo, fármacos de propriedades medicinais ainda não descobertas em plantas de florestas tropicais.
- O valor de não-uso (VNU) representa o valor de existência (VE), que está dissociado do uso e deriva-se de uma posição moral, ética e altruística em relação ao direito de existência de espécies não humanas (MOTTA,1998). Com esses conceitos este autor propõe para o VERA a seguinte expressão:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE} \quad (7)$$

Motta (1998) justifica a determinação do VERA considerando que , “embora o uso dos recursos naturais não tenha seu preço reconhecido no mercado, seu valor econômico existe na medida que seu uso altera o nível de produção e consumo da sociedade”.

A metodologia de atribuir valor aos recursos naturais pode ser de difícil operacionalidade e passível de erros. Porém, erro maior se comete ao não atribuir ao capital natural qualquer valor (HAWKEEN et al, 1999). Na metodologia de Análise de Valor, proposta por Milles na década de 40, havia preocupação com a escassez de produtos em função de um contexto mundial de economia pós-guerra, bem diferente do momento atual onde há escassez em função da exaustão, dos danos ambientais e das exigências sociais.

No contexto atual é possível que Milles, ao propor sua metodologia, levasse em consideração o meio ambiente. A este respeito Hawkeen et al (1999) escreveram: “Embora talvez não exista uma maneira “certa” de avaliar uma floresta, um rio ou uma criança, o errado é não lhes atribuir valor nenhum, e se há dúvidas sobre como avaliar uma árvore de setecentos anos, mais vale perguntar quanto custaria criar uma nova”.

2.3. A Análise do Valor do Processo e Produto

A técnica de analisar as funções de um produto, tendo em vista a pesquisa de substitutos mais baratos e que desempenhassem as mesmas funções, foi concebida por volta de 1947 pelo engenheiro Lawrence D. Miles, tendo se disseminado no mundo inteiro desde esta data. Sua chegada ao Brasil ocorreu nos meados da década de 60, onde também foi difundida, culminando em 1984 com a criação da Associação Brasileira de Engenharia e Análise de Valor - ABEAV (CSILLAG,1995).

Este autor apresenta uma série de definições desta metodologia, com destaque para aquela da Comissão de Análise de Valor/Engenharia de Valor (AV/EV) da Associação das Industrias Eletrônicas dos EUA, que definiu AV da mesma maneira que Milles, como “a aplicação sistemática de técnicas que identificam, estabelecem valor e objetivam prover uma função do menor custo, sem degradá-la”. Csillag (1995), faz referência à definição de Heller, com quem concorda, que sugere para EV, “a aplicação sistemática e consciente de um conjunto de técnicas, que identificam funções necessárias, estabelecem valores para as mesmas e desenvolvem alternativas para desempenhá-las ao mínimo custo”.

A Análise do Valor/Engenharia do Valor, segundo Pereira Filho (1994) é um método sistemático para aumentar o valor de um produto, processo ou serviço, utilizando a identificação e avaliação das funções, maximizando a relação $\text{Valor} = \text{Função}/\text{Custo}$.

Abreu (1996) enfatiza o conceito de Miles, “como uma abordagem de análise das funções de um determinado produto para efeito de pesquisa de outros mais baratos e que desempenhem as mesmas funções, sem comprometer a qualidade e segurança”. Este autor considera que a metodologia é um trabalho de combate ao desperdício, e uma nova forma de analisar os recursos colocados à nossa disposição. Entretanto, observa que existe uma diferença entre AV e EV, considerando que a primeira é aplicável a algo que já existe, e a segunda para recursos que ainda estejam em fase de concepção ou projeto.

Milles, conforme referencia Abreu (1996), ao propor sua metodologia, chamava atenção para as funções de determinados produtos e a perspectiva de substituí-los por outros de menor custo, que desempenhassem as funções necessárias ao usuário, vendo a técnica da AV como a solução de problemas e a eliminação de custos desnecessários incorporados ao produto ou processo. Independente do autor, identificar a (s) função (ões) de um item, processo, produto, de um projeto de construção é ação-chave para a metodologia de Análise do Valor.

Nesta metodologia, definir a função, como toda e qualquer atividade ou ação que um produto desempenha em favor do usuário (Possamai, 2000), é um dos passos mais importantes. Neste aspecto satisfazer a necessidade de um usuário é, segundo Abreu (1996), a principal função de um recurso, ressaltando que, o usuário nunca tem necessidade de um recurso, mas sim necessidade das funções que o mesmo desempenha, sendo este um dos fundamentos da AV.

Função para Snodgrass & Kasi, referenciados por Csillag (1995), é a ação para a qual uma pessoa ou coisa é especificamente alocada, ou usada para, ou para qual esta coisa ou pessoa existe, ou ainda, uma em um grupo de ações relacionadas que contribuem para uma ação maior.

Para Basso (1991), também citado por Csillag (1995), função é toda e qualquer atividade que um produto desempenha, ou tudo aquilo que faz o produto trabalhar e/ou vender.

Csillag (1995) considera função como a característica a ser obtida do desempenho de um item, se o item realizar sua finalidade, objetivo ou meta, sendo a finalidade ou motivo da existência do item ou parte dele. Este autor estabelece ainda para função, a característica de um item ou serviço que atinge as necessidades e desejos do comprador/usuário, ou ainda a característica de desempenho a ser possuída por um item para funcionar ou vender.

Pereira Filho (1994) considera que função é toda atividade que o objeto desempenha, representando o conjunto de atividades que atenda às necessidades do usuário.

É consenso entre os diversos autores que abordam a metodologia da AV, que as funções têm custos e que a AV pode contribuir para “descontaminar” o produto de funções sem importância (ABREU, 1996). Este autor enfatiza que identificar, descrever, determinar os custos e analisar as funções de um recurso, são os fundamentos filosóficos da AV.

Abreu (1996), observa ainda, que a busca de recursos que desempenhem funções semelhantes, com custos menores, com garantia dos aspectos segurança, continuidade operacional e qualidade, é também objeto da AV.

Para Csillag (1995), a abordagem funcional é definida como a determinação da razão de existir de um objeto, através da identificação da sua função, que é o objetivo de uma ação ou de uma atividade que está sendo desempenhada. A função de uso é definida através de um verbo e um substantivo, como por exemplo, da areia (natural ou industrial), cujas funções podem ser definidas como: produzir argamassa ou reduzir custos no concreto.

Esse autor, assim como outros, seguindo a linha de Milles, classifica as funções em básicas, que são aquelas que sem a qual o produto perderá o seu valor e, secundárias, que são aquelas que ajudam o produto ser vendido ou desempenhar a função básica.

Entretanto, a abordagem funcional deve seguir um roteiro, denominado Plano de Trabalho (PT), criado por Milles e modificado sutilmente por diversos autores e entidades, de acordo com os pontos de vista e necessidades de cada um. Na prática, guardam muita coisa em comum sendo diferenciados apenas no detalhamento e desdobramentos de algumas fases.

Nesse trabalho será utilizado e analisado o modelo original simplificado das Sociedades Americana e Japonesa de Engenheiros de Valor que reduz o PT de Milles a cinco fases, como visto em Abreu (1996), com sugestão de modificações nas fases, criativa, avaliação e escolha/implantação/acompanhamento com introdução da variável ambiental.

Na prática a metodologia trabalha no sentido de, "buscar recursos que desempenhem funções semelhantes com um menor custo", podendo portanto, ser aplicada no suporte à decisão de produzir areia industrial em substituição à areia natural, considerando a variável ambiental na análise dos custos das funções de produtos e processos geradores destes produtos.

Na produção de bens minerais, analisar um produto e seu processo de obtenção, calcular os custos (inclusive os ambientais) e as funções que este produto possa desempenhar, quando comparado a outro existente pode trazer ganhos financeiros, sociais e ambientais.

2.4. Custos e Benefícios de Processos

Denomina-se custo, toda e qualquer aplicação de recursos, sob diferentes formas e expressa em seu valor monetário, ou ainda o gasto necessário para se produzir um bem (Toledo Júnior, 1989). Esta definição não difere muito entre os autores, como Martins (1985), que se refere ao custo como um sacrifício financeiro que a entidade arca para a obtenção de um produto ou serviço. Independente do autor, o custo é um dos principais parâmetros na avaliação crítica da relação "custo-benefício" de um produto (bem ou serviço), segundo Martins (1985).

Pereira Filho (1994) sugere para o custo a expressão "valor de custo", o qual é a quantidade de dinheiro, que representa a soma dos custos e despesas, para a manufatura de um produto. No estudo do valor, as informações sobre os custos são importantes para a quantificação das funções envolvidas e para aumentar o valor econômico de um produto, processo ou serviço, utilizando a identificação e avaliação das funções, maximizando a

relação Valor = Função/Custo. Para Pereira Filho (1994), isso implica em maximizar as funções com redução dos gastos ou esforços para a obtenção daquelas funções, ou ainda conseguir o “mínimo custo para se obter uma função”.

Abreu (1996), apresenta o conceito de custo, vinculando-o ao consumo de recursos utilizados para a produção de um bem ou à prestação de um serviço. Define ainda recurso, como tudo aquilo que está disponível numa organização para a realização das suas atividades, sejam eles materiais, financeiros, instalações, humanos, tecnológicos, organizacionais ou contratados. Este autor, seguindo a mesma linha de Pereira Filho (op.cit.), também aborda a questão da variável custo como aspecto importante da Análise do Valor, atentando para o custo das funções e não para os diversos custos inerentes a um determinado recurso e ainda, para a possibilidade de otimização ou eliminação de funções desnecessárias e dos seus custos. Para Abreu (1996), a adoção da Análise de Valor requer que se disponha de um bom sistema de contabilidade de custos, para permitir que todos os componentes de custo de uma determinada função sejam identificados.

Uma questão que emerge nesta análise, é a identificação, descrição e custeio das características de um recurso, que é o atributo que o distingue de outro que execute a mesma função, e faz com que o usuário comprador seja influenciado na sua escolha (ABREU,1996). Para esse autor o custo de cada característica “é o valor monetário gasto para que uma característica esteja presente e sirva como fator diferenciador e de opção para o usuário”.

No caso de um recurso natural, como exemplo a areia, identificar a chamada situação semelhante, pode significar encontrar um produto que execute as mesmas funções de uso e tenha as mesmas características físicas e químicas do produto a custos menores que o produto comparado.

Quando se trata de um recurso natural, entra em questão o custo ambiental, que segundo Souza Campos (1996), é um termo de difícil conceituação, pois a literatura clássica não apresenta uma definição clara e objetiva do que se considera custo ambiental.

Autores com Graedel & Allembly (1995) abordam a questão, trazendo o conceito de externalidades, cujos primeiros estudos datam das décadas de 60 e 70, para prover as agências de financiamento de instrumentais para a avaliação custo-benefício social de projetos e empreendimentos (TOSTES E FERNADES,1996).

Para Graedel e Allembly (1995), a questão das externalidades tem crescido na análise econômica de projetos, em função das limitações do meio ambiente. Externalidades são custos (ou ocasionalmente ganhos) que oneram a sociedade em geral, que não são capturados no preço, e portanto refletem uma decisão econômica privada.

Este ponto de vista é compartilhado por autores como Motta (1998), que define externalidades como custos da degradação ecológica não pagos por aqueles que a geram, afetando a terceiros, sem a devida compensação. Para este autor, as atividades econômicas são de uma maneira geral executadas e planejadas sem levar em conta as externalidades, o que tem como resultado a apropriação do capital natural com benefícios para quem o explora e custos para os excluídos.

Ainda segundo Motta (1998), “as gerações futuras serão deixadas com um estoque de capital natural resultante das decisões das gerações atuais, arcando com os custos que estas decisões podem implicar”. Isto tem como consequência, que no estudo econômico de um produto a avaliação da relação custo-benefício torna-se obrigatória.

2.4.1 – A Avaliação de Custos e Benefícios

Na avaliação da relação Custo/Benefício, Graedel e Allembly (1995), sugerem que numa análise direcionada às questões ambientais, surgem questões econômicas e não econômicas. Com relação ao formato de uma análise Custo/Benefício, várias questões específicas devem ser levantadas pelo analista adepto da ecologia industrial, como a seguir:

1. As questões formuladas são (implícita e explicitamente) apropriadas? Quem está realizando a análise, e quais os seus interesses nos resultados ?
2. Quais são as distribuições, geográfica e temporal, dos custos/benefícios? Alguma taxa de desconto está sendo aplicada nos custos futuros para justificar os ganhos presentes ?
3. Quais são as incertezas significativas relacionadas à análise, e estas podem ser quantificadas (i.e., pode ser feita uma estimativa probabilística dos danos potenciais futuros relacionados à deposição de um dado resíduo) ?
4. Qual é a sensibilidade da conclusão dos elementos identificados nas questões 1 e 3 ?

É usual considerar a questão dos custos e benefícios em seis diferentes níveis, cada um dos quais sob uma única questão:

- a) Custos Econômicos para a Empresa. Tradicionalmente os sistemas contábeis tratam o meio ambiente como custo real, como custo ambiental quantificável como um todo, não o distribuindo por atividade, produto, processo, material ou tecnologia. Como resultado, os gerentes por não disporem de valores precisos, nada fazem ou incentivam para reduzir estes custos. Graedel e Allembly (1995) propõem como solução, desenvolver um sistema de contabilidade gerencial que desmembre tais custos, de acordo com sua atividade causadora, e portanto permitindo o seu gerenciamento racional, é a chamada

- “contabilidade verde” que conceitualmente é simples;
- b) Custos Sociais no nível da Empresa. Progressivamente muitas empresas têm contabilizado os chamados “custos sociais”, internalizando as externalidades nas suas operações e decisões de negócios. Isto após usar metodologias de *Design for the Enviromental* (DFE) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV/LCA): se os preços capturam totalmente as externalidades, estas metodologias tornam-se supérfluas e, as empresas poderiam simplesmente contar com o preço para dizer que as escolhas foram socialmente eficientes. Graedel de Allembly (1995), apontam numerosos problemas de avaliação que tornam esta análise difícil: como identificar e quantificar apropriadamente os custos sociais; como tratar questões morais e éticas; e como tomar decisões quando os dados dos impactos são esparsos e incertos. Portanto, a dimensão pelas quais os custos ambientais podem ser internalizados pela empresa é limitada pela competitividade e considerações econômicas;
 - c) Custos e Benefícios do Projeto em Nível Nacional. A despeito de tais exigências serem claramente benéficas, as questões com o meio ambiente devem ser consideradas em algum ponto da avaliação do projeto, embora a identificação e quantificação dos custos levantados antes não sejam fáceis. Existem ainda as questões culturais sócio/econômicas que tornam esta avaliação particularmente difícil (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995);
 - d) Custos e Benefícios da Regulamentação Ambiental Nacional. Até a algum tempo os custos decorrentes das regulamentações ambientais eram mínimos e até considerados supérfluos. Entretanto, estes custos cresceram e só nos EUA passaram de US\$ 30 bilhões para US\$ 171 bilhões desde 1972 ao ano de 2000. Isto corresponde passar de 2,1% para 2,6% do PIB de 1972 a 2000, naquele país. No Brasil, embora estes valores sejam mais modestos, as pressões sociais deverão forçar a internalização dos custos externos nos projetos que envolvam o meio ambiente;
 - e) O PIB Nacional. Como as questões que envolvem o meio ambiente estão se tornando cada vez mais importantes, os sistemas contábeis atuais estão sendo questionados por desconsiderarem o chamado “capital natural”, que é utilizado para produzir ativos monetários. Tecnicamente o sistema baseia-se no Sistema Nacional de Contabilidade da ONU, um padrão internacional que considera a terra, os minérios e os recursos florestais como ativos no estoque de capital de um país, porém não os considera como renda nacional e produto contábil. No entanto se um recurso natural é usado, e a renda nacional e o produto contábil não mostram a depreciação equivalente este sistema deve ser questionado. É questionável se, por exemplo, uma floresta tenha sido depletada e a renda nacional contábil não reflita a redução no valor de um ativo natural derivada daquela

depleção. Para Graedel e Allembly (1995), este sistema é falho, sob a ótica do valor, por considerar como zero o valor da floresta até sua destruição. Isto vale para qualquer produto do capital natural.

Nesse sentido, segundo Tostes e Fernandes (1996), torna-se necessário aperfeiçoar as metodologias de avaliação custo-benefício sociais, que permitam sua consideração nos processos de planejamento e tomada de decisão por empresas privadas e governos.

Motta (1998), propõe a utilização da Análise Custo Benefício - ACB para aumentar a eficiência da gestão ambiental, determinando prioridades, tendo como base um critério econômico, sendo este fundamentado nas abordagens ecológicas.

Na produção de areia natural, algumas considerações devem ser feitas: a produção deste insumo é feita, em geral, por pequenos produtores, envolvem processos altamente degradantes, normalmente trabalham à margem da lei ou não cumprem os termos propostos nos projetos de controle ambiental.

Para Hawkeen et al (1999), as tecnologias extrativistas vêm acompanhadas de danos ao meio ambiente, os quais raramente são calculados em termos de valor monetário e não são computados nos custos de produção. Entre estes danos estão o esgotamento dos recursos naturais, o desmatamento de florestas tropicais, o derramamento de resíduos tóxicos nos rios, etc. Além destas questões que envolvem o meio ambiente, existem outras que se referem à eficiência e eficácia dos processos na produção de agregados (areia e brita), que se caracteriza também pelo desperdício.

2.5. Eficiência e Desperdício de Processos

O uso dos materiais, tem sido desde longa data dissipativo. Isto se traduz na degradação, dispersão e perda de materiais e recursos no sistema econômico no curso de um único uso normal. Entretanto, de uma ou duas décadas para cá, as organizações industriais têm se colocado numa posição de responder as legislações impostas, mais em função de uma crise real e percebida do meio ambiente que de ações planejadas, o que impõe significativos custos econômicos como resultado (GRAEDEL E ALLEMBY,1995).

Graedel e Allembly (1995), que retratam o processo industrial com quatro pontos centrais, o extrator de materiais, o processador ou fabricante, o usuário, e o catador de lixo. Como princípio, a partir do ponto de vista de um destes pontos centrais, ou do ponto de vista do ecossistema industrial como um todo, lixo pode ser considerado alguma coisa que não agrega valor.

A “Declaração de Carnoules”, que propõe um salto na produtividade dos recursos naturais a fim de reverter os danos cada vez mais graves ao meio ambiente, como a geração de lixo, começa com previsões como: “ No espaço de uma geração, as nações podem duplicar a eficiência com que empregam energia, os recursos naturais e outros materiais”. Desde então, os chamados “Fator Dez” (redução de 90% dos recursos naturais e energia) e o “Fator Quatro” (redução de 75%) passaram a fazer parte dos sistemas de produção em todo mundo (HAWKEEN et al 1999).

A mesma abordagem passou a ser endossada pela União Européia como paradigma de desenvolvimento sustentável e, o conceito além de haver-se incorporado a linguagem geral, passou a ser visto pelas grandes corporações como uma estratégia poderosa para obter vantagem competitiva.

Neste modelo de desenvolvimento, aumentar a produtividade dos recursos significa obter de um produto ou processo a mesma quantidade de utilidade, ou trabalho, empregando menos energia e material. Na mineração para produção de insumos para a construção civil, como por exemplo na produção de brita, assim como em outros setores industriais, evidências empíricas sugerem ser possível um aumento na eficiência e produtividade dos recursos.

Nas pedreiras não é rara a presença de pilhas cada vez maiores de rejeitos resultantes de processos de britagem, que ocupam grandes áreas, exigindo eventuais manejos, resultando em problemas ambientais e incorporando custos à produção de brita, num exemplo clássico de desperdício e ineficiência. Do outro lado, está a extração de areia natural, que além de também apresentar desperdícios e externalidades não contabilizadas, tem contribuído significativamente para a ocorrência de problemas ambientais, muitas vezes irreversíveis.

Eficiência, é uma palavra que sob o enfoque da engenharia, significa a quantidade de *output* que um processo oferece por unidade de *input*, e maior eficiência é fazer mais com menos. Sob a ótica da economia, a eficiência de um processo, ou resultado, é medida em termos de despesa em dinheiro, ou ainda, pelo valor de mercado do que foi produzido em comparação com o custo de mercado do trabalho e de outros insumos que concorreram para a sua produção.

Ainda sob este enfoque, eficiência segundo Hawkeen et al (1999), refere-se à medida que os mecanismos estão sendo controlados plena e perfeitamente a fim de minimizar o fator custo monetário total da produção.

Em contraponto à eficiência está o desperdício, que significa o dinheiro gasto sem que se tenha adquirido nenhum valor. Normalmente a indústria consome energia e insumos e,

produz algum bem ou serviço, além de resíduos líquidos e sólidos, que vão para aterros ou corpos d'água, gerando deterioração do meio ambiente. Este processo está entre as três crises que ameaçam a humanidade no século XXI, e tem como causa o desperdício (HAWKEEN et al., 1999). A mineração de agregados, como insumos para a construção civil, é na maioria das vezes um exemplo clássico de ineficiência e desperdício.

Desperdício para Ohno, citado por Hawkeen et al (1999), é “ qualquer atividade humana que absorve recursos sem criar valor”. Quanto à classificação das formas de desperdício, Hawkeen et al (1999), seguem a proposta por James Womack e Daniel Jones, que reformularam a classificação das formas de desperdício da seguinte maneira: “ os erros que exigem retificação; a produção de itens que ninguém quer e o conseqüente acúmulo de estoques e bens; os passos desnecessários no processamento; o movimento de empregados e o transporte de bens injustificáveis; grupos de pessoas ociosas em uma atividade correnteza abaixo porque uma atividade correnteza acima não funcionou a tempo e; os bens e serviços que não atendem às necessidades do cliente”.

O desperdício é uma das mais sérias causas da elevação de custos, e representa a maior ameaça ao esforço de maximização de uma organização (ABREU,1996), estando presente em todas as áreas, “acumulando custos inúteis que comprometem a rentabilidade dos empreendimentos”. É por este motivo, que esse autor considera a técnica de Análise de Valor (AV) como facilitadora das ações de combate ao desperdício e de otimização de custos.

2.6 A Problemática sob a Ótica da Ecologia Industrial

Para Graedel e Allembly (1995), num sistema ecológico e equilibrado do processo industrial, as fases de extração, fabricação, uso e reciclagem, deveriam se inter-relacionar de forma cíclica, onde toda molécula que entrasse num processo de transformação produzisse outro material desejável, e que todo produto deveria ser usado para criar outro produto útil no fim de sua vida, num verdadeiro ciclo.

Analisar este ciclo exige que se faça, a exemplo das técnicas de contabilidade, um balanço no fluxo de entradas e saídas dos recursos utilizados num processo industrial qualquer. Isto pode ser executado, através das medidas de eficiência e da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos e processos.

2.6.1 - O Conceito de Balanço

Neste trabalho, o conceito de balanço é adaptado de Graedel e Allembly (1995), e envolve: a reserva mineral, ou o quanto de material lavrável está disponível; o fluxo, que é a quantidade de material entrando e deixando um reservatório (reserva); fonte ou depósito, que são as razões de entradas e perdas de um material específico de uma reserva por unidade de tempo, que em mineração pode ser considerada como a taxa de exaustão.

Os balanços na EI têm os mesmos três componentes como os citados anteriormente: a determinação do presente nível de concentração (reserva), uma medida ou estimativa da fonte (produção e uso de areia), e uma medida ou estimativa do depósito (exaustão).

2.6.2 - Medidas Quantitativas no Ciclo Ecológico

São medidas de eficiência na ecologia industrial que podem ser calculadas e adaptadas à produção de agregados como, extração eficiente, fabricação eficiente, recuperação eficiente, reciclagem eficiente e eficiência do sistema (GRAEDEL E ALLEMBY,1995). As medidas de eficiência são calculadas de acordo com as variáveis a seguir:

V = Material Virgem (para areia = sedimento de leito ou rocha);

M = Material Processado (sedimento ou rocha);

P = Produto (areia + cascalho/brita + pedrisco);

I = Material Impuro (resíduos orgânicos/solo);

W = Lixo Produzido;

S = Material reciclável.

Considerando estas variáveis as medidas de eficiência são:

- extração eficiente (t), que é função da tecnologia de extração, do fluxo de resíduos de alta – qualidade, e especificações negociadas com o fabricante. Onde:

$$t = M / (V + I) \quad (8)$$

Se nenhum material virgem é usado e nenhum resíduo é produzido $t = 1$;

- fabricação eficiente (μ), é uma função do projeto, produto e processo, e suas implementações:

$$\mu = P / (P + W_m) \quad (9)$$

Onde: W_m = fluxo de massa do resíduo do processo de fabricação. Se nenhum resíduo é gerado no processo $\mu = 1$;

- recuperação eficiente (ρ), é função do projeto do produto, política governamental, e mercado de materiais recicláveis.

$$\rho = S / (S + Wc) \quad (10)$$

Não é o caso, mas, se todo o material for reciclável $\rho = 1$,

- eficiência do sistema (σ), é o somatório de todas as eficiências calculadas:

$$\sigma = t + \mu + \rho \quad (11)$$

Num sistema perfeito de ecologia industrial, no qual todos os materiais são fornecidos por reciclagem $\sigma = 1$.

2.7 A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

As crises do petróleo, no final da década de 60 e início da década de 80, alertaram o mundo para a necessidade de melhor utilizar os seus recursos. Nesse contexto, estudos como os realizados pela Coca-Cola, vários aspectos das questões ambientais foram levantados, até que em meados da década de 70 surgiu nos EUA o que hoje se conceitua como Avaliação do Ciclo de Vida (CHEHEBE,1998).

Chehebe (1998) se refere à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), como uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais associados a um produto, desde a extração da sua matéria-prima até o seu descarte final, que permite comparar, quantificar de uma forma integrada um produto ou processos e/ou planejamento estratégico.

Os resultados das análises, segundo Chehebe (1998), podem ser úteis na tomada de decisão, na seleção de indicadores ambientais relevantes para a avaliação de performance de projetos de produtos ou processos, ou ainda a identificar oportunidades de melhoramentos de aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção.

A figura 2.2 mostra que todo produto, qualquer que seja sua matéria prima, provoca um impacto ao meio ambiente, seja por seu processo produtivo, uso ou disposição final.

Para este autor o enfoque gerencial da ACV “constitui-se num poderoso instrumento para a administração dos aspectos ambientais de sistema e produtos e uma forte tentativa de integração da Qualidade Tecnológica do Produto, da Qualidade Ambiental e do Valor Agregado para o consumidor e para a sociedade”.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto é a maneira prática de fabricar (produzir) um produto avaliando os materiais, serviços, produtos, processos e tecnologias ao longo de sua vida completa, desde o projeto, construção, manutenção e reciclagem, de tal

modo que ele possua um impacto mínimo (GRAEDEL E ALLEMBY,1995).

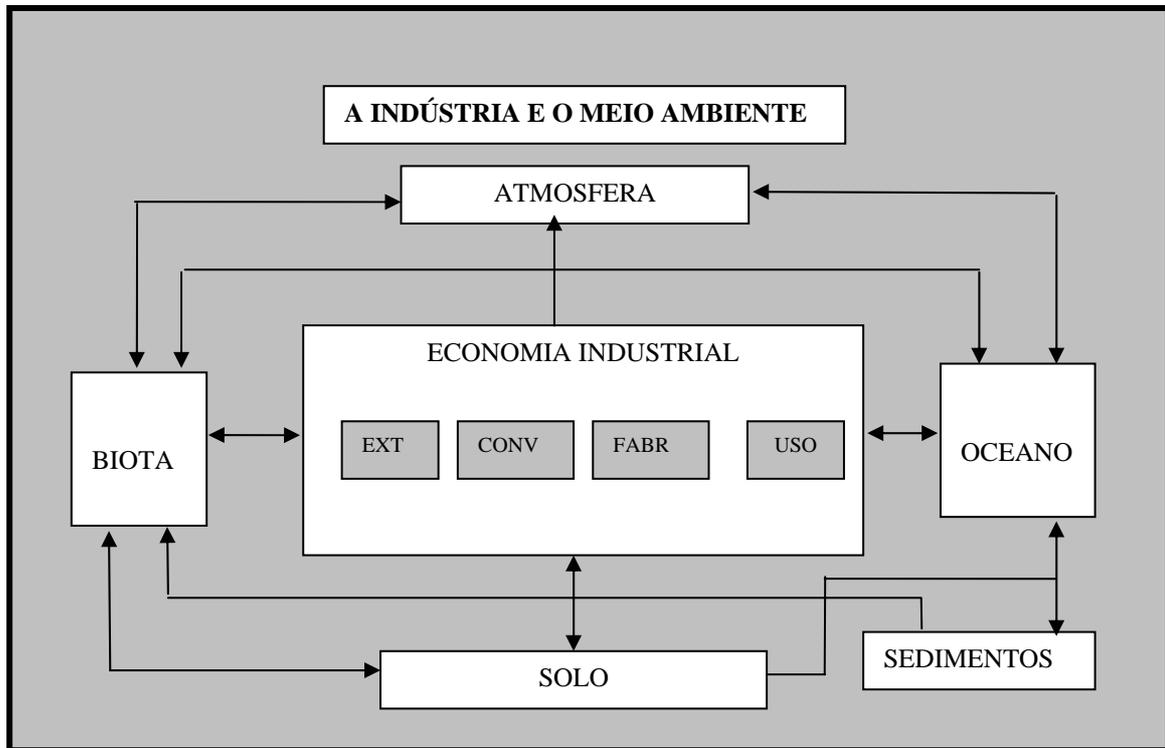


Figura 2.2 – Interações Indústria - meio ambiente. (CHEHEBE, 1998).

Na essência, a ACV considera a avaliação econômica do meio ambiente, as implicações tecnológicas do material, processo ou produto através do seu tempo de vida, desde a sua criação até o lixo ou, preferencialmente, para recriação na mesma, ou outra forma útil. Segundo Chehebe (1998), a ACV é uma ferramenta que visa auxiliar na compreensão, controle e redução de impactos ambientais, podendo ser utilizada como ferramenta gerencial em qualquer processo que implique em intervenções no meio ambiente.

Para SETC (Sociedade de Química e Toxicologia do Meio Ambiente), ACV:

“É um processo objetivo para avaliar responsabilidades associadas com o meio ambiente, de um produto, processo, ou atividade, pela identificação e quantificação da energia e uso de material e lançamentos no meio ambiente, permitindo avaliar e implementar oportunidades para efetivas melhorias ao meio ambiente. Esta avaliação inclui, o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, abrangendo a extração e processamento de materiais crus; fabricação, transporte e distribuição; uso/reuso/manutenção; reciclagem e ; disposição final.” (GRAEDEL E ALLEMBY,1995).

A ISO 14.040 estabelece que a ACV deve incluir a definição do objetivo e do escopo (aplicação e limites), uma análise do inventário, uma avaliação de impacto e a interpretação dos resultados, como na figura 2.3(CHEHEBE,1998).

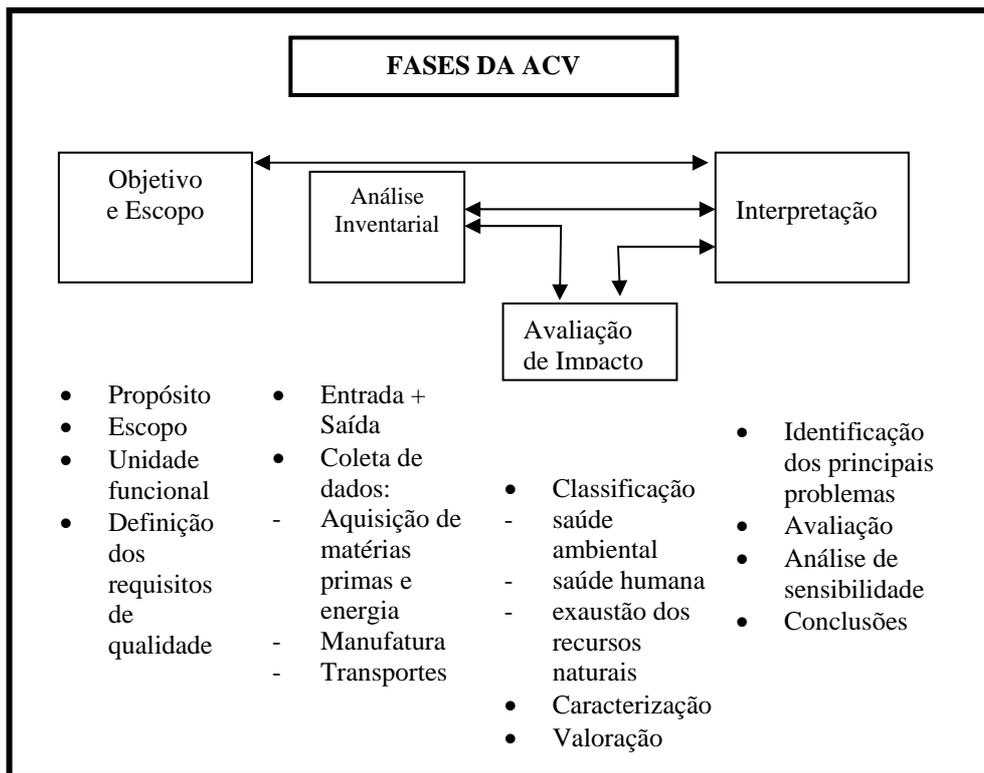


Figura 2.3 - Fases da ACV segundo ISO 14040. (CHEHEBE, 1998)

Para Graedel e Allembly (1995), a ACV inclui três estágios, a partir da definição do escopo, como na figura 2.4 a seguir.

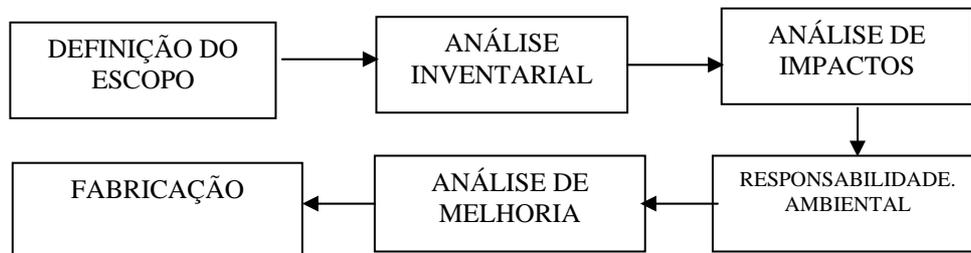


Figura 2.4-Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida de Um Produto. (GRAEDEL e ALLEMBY, 1995).

O escopo na ACV é a definição do tipo de produto ou processo e a abrangência do estudo. Uma análise inventarial é executada e tem como resultado uma classificação da responsabilidade ambiental do produto (RAP). Esta classificação guia para uma análise de melhorias potenciais. Após isso, o produto melhorado é lançado para fabricação.

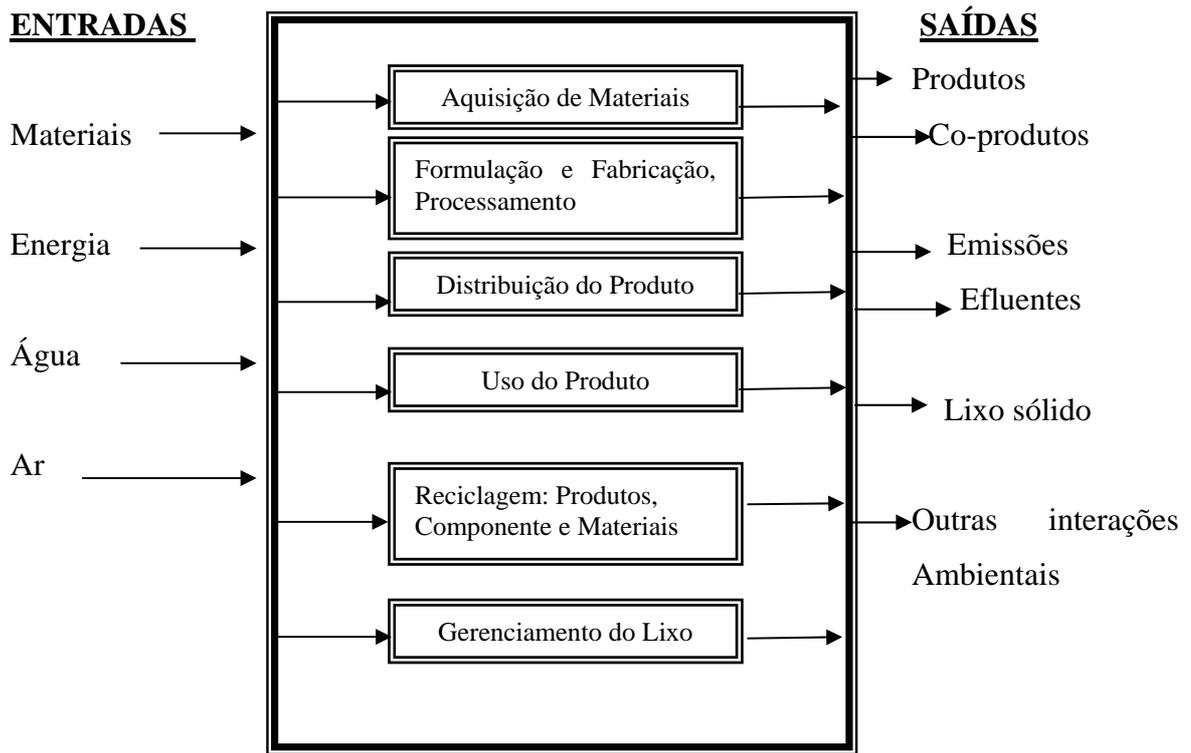


Figura 2.5-Os Elementos de uma Análise Inventarial de Ciclo de Vida. (GRAEDEL e ALLEMBY, 1995).

O primeiro componente da ACV, análise inventarial, é a mais desenvolvida e usa dados quantitativos para estabelecer os níveis e tipos de energia e materiais que entram no sistema industrial e os lançamentos ao meio ambiente, como mostra a figura 2.5.

Deve ser notado que esta abordagem é baseada na idéia de uma família de balanços de materiais, medindo as entradas de energia e recursos que são fornecidos e, o produto resultante incluindo aqueles com valor e aqueles que são responsáveis potenciais. A avaliação é feita sobre o ciclo de vida completo: extração, fabricação, distribuição, uso e disposição.

O segundo estágio, análise dos impactos, envolve as saídas do sistema e os impactos no meio externo para onde aquelas saídas fluem. O terceiro estágio, a análise de melhoria, é a explicação das necessidades e oportunidades para redução dos impactos como um resultado da atividade industrial desempenhada. Ela acompanha os estágios 1 e 2, e sua implementação é designada *design* para o meio ambiente (DFE).

Entretanto, Graedel e Allembly (1995), alertam que “existe uma limitação fundamental na metodologia (ACV): as etapas são complexas e muito detalhadas para serem utilizadas no dia-a-dia do mundo real”. Isto significa que para ser efetiva, a metodologia deve ser capaz de fácil e rapidamente identificar e diferenciar os impactos críticos ao meio ambiente, o que levará os projetistas a se concentrarem nos problemas mais importantes, deixando para depois aqueles que produzem menos impactos. Uma outra limitação é que estas metodologias foram

desenvolvidas para um único produto. Mas Graedel e Allembly (1995) sugerem a sua utilização para comparar produtos e priorizar aquele que menos impactos produza na natureza, como mostra a figura 2.6.

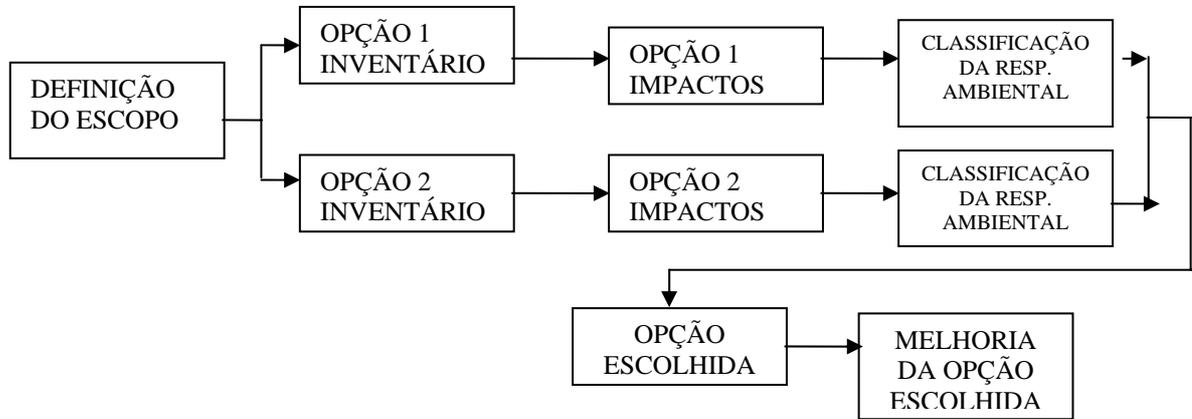


Figura 2.6 – Uma Visão Geral da ACV/DPMA – Comparando Produtos ou Processos. (GRAEDEL e ALLEMBY, 1995).

2.7.1 - Auditoria de Produtos e Processos como Estágio da Análise Inventarial da ACV

A análise inventarial é a fase de coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, entre outros). Nessa fase, Graedel e Allembly (1995), sugerem como metodologia para aquisição de dados, avaliações qualitativas, mesmo considerando aspectos controversos destas.

Tal proposta metodológica, se justifica, porque segundo Graedel e Allembly (1995), numa avaliação que envolva informações na área do meio ambiente a quantificação segura dos impactos, ambientais e sociais, é complexa e sempre há possibilidade de se perder dados importantes.

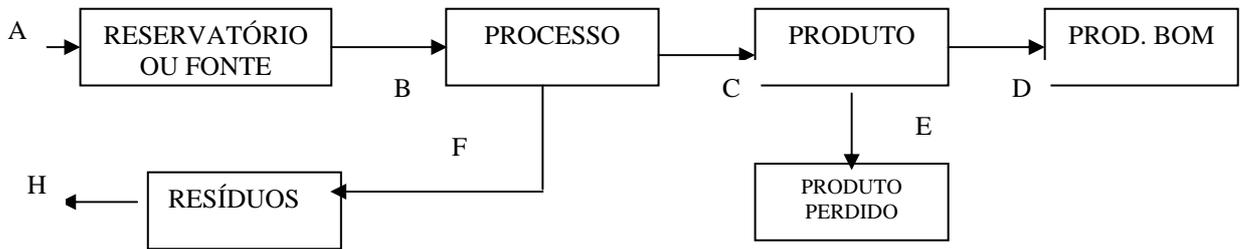
Entre estas avaliações está a determinação dos balanços dos processos e produtos, aqui adaptados à produção de areia, considerando os processos de produção de areia natural e industrial. A figura 2.7 apresenta um modelo-resumo da análise inventarial, onde para obtenção de areia natural considera-se o processo de dragagem (I) e para areia industrial o aproveitamento do rejeito de pedreiras (II), como a seguir;

I) $A = D + E + H$ onde: A = Material do Fundo do Rio ; D = Areia ; E = Cascalho

H = Água + Sedimentos Finos + Matéria Orgânica

II) $A = D + E + H$ onde: A = Pó-de-Brita ; D = Areia Industrial ; E = *Filler* + (Mica) ; H = Água + Sedimentos Finos ou H = sedimentos finos para o processo “a seco”.

Figura 2.7 – Esquema geral de uma análise inventarial de processos.



(GRAEDEL e ALLEMBY, 1995).

Um balanço de produtos pode ser feito para cada estágio ou para o sistema inteiro, permitindo os cálculos das eficiências. Estas eficiências podem ser calculadas, para processos diferentes que produzam produtos com funções semelhantes, a partir dos dados de produção. Entre estas, pode-se calcular as eficiências de extração (ϵ) e do uso de energia, para qualquer um dos produtos, através da equação 8, do item 2.6.2 do capítulo, que considera as razões de saída e entrada de material virgem no processo de produção.

Da mesma maneira pode ser calculado o reaproveitamento eficiente (λ), também para qualquer estágio de um processo, considerando o reaproveitamento do(s) resíduo(s) gerado(s) nos processos em estudo.

2.7.2 - Matrizes para Auditoria de Produtos e Processos

Outra maneira de comparar produtos ou processos e verificar suas vantagens relativas, é proposto por Graedel e Allembly (1995), através de “quadros matrizes”, que consistem de: a) um sistema gráfico qualitativo que sumariza o *status* de uma opção específica, através do ciclo de vida do produto ou processo; b) e uma documentação explicativa que acompanha a informação contida na matriz (quantificando quando possível).

No uso de “quadros matrizes” para uma opção de processo, Graedel e Alembly (1995) propõem que sejam construídas quatro matrizes primárias, que compreendem os estágios de vida dos produtos e/ou processos em estudo. Estas matrizes são:

- Matriz Primária de Fabricação ou Produção – focada nas implicações de cada opção em termos da atividade de fabricação ou produção em si;
- Matriz Primária do Meio Ambiente – que permite uma visualização dos impactos ambientais mais comuns da tecnologia escolhida, através do estágio do ciclo de vida do produto, buscando minimizar os efeitos da tecnologia corrente;

- Matriz Primária de Toxidez e Exposição – que identifica a toxidez do produto nas questões relacionadas ao ciclo de vida do processo de forma sistêmica.
- Matriz Primária Político-Social – que permite capturar aspectos não-técnicos mais amplos de cada opção. Esta matriz apresenta desafios especiais, pois muitas das informações são virtualmente ignoradas porque são difíceis de definir e codificar com precisão;

A matriz primária de fabricação abrange as questões relativas a análise inventarial e, as outras três matrizes se relacionam com os efeitos das atividades de produção e por isso capturam aspectos da avaliação qualitativa dos impactos ambientais.

Neste trabalho, no preenchimento das matrizes, baseado na metodologia proposta por Graedel e Allembly (1995), sugere-se para cada célula, registros numéricos como sintetizado na figura 2. 8. Nesta figura, um “zero” na célula significa uma categoria não aplicável à opção sob consideração. O número 1 com sinal negativo (-) indica um efeito negativo insignificante, com sinal positivo(+) um efeito positivo insignificante; o número 3 com sinal negativo(-) significa um efeito negativo moderado, com sinal positivo(+) indica um efeito positivo moderado e; O número 5 com sinal negativo(-) representa um efeito negativo significativo, com sinal positivo(+) indica um efeito positivo significativo para a opção projetada ou o relativo grau de benefício.

Figura 2. 8- Tipos de registros para as matrizes de avaliação. (Adaptado de GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

CATEGORIA	EFEITO		
	INSIGNIFICANTE	MODERADO	SIGNIFICATIVO
Aplicável	1 (+ ou -)	3 (+ ou -)	5 (+ ou -)
Não Aplicável	0		

A matriz primária de toxidez e exposição, não será considerada nesta metodologia pois nas outras matrizes, no item “externalidades” podem ser inseridos tais custos, com por exemplo aqueles relativos à saúde dos trabalhadores.

2.7.3 – Modelos de Matrizes para Inventariar Produtos e Processos

Para inventariar o desempenho de produtos e processos, Graedel e Allembly (1995), sugerem a construção de matrizes, adaptando-as a produtos e processos individuais de uma linha ou mesmo a produtos que tenham a mesma finalidade. Um exemplo de matriz, que permite a comparação entre dois produtos, está representado pela figura 2. 9, onde o produto

A pode ser a areia natural e o B a areia industrial.

CATEGORIA	Eficiência do Processo		Eficiência no Consumo de Energia		Custos de Produção		Custos Ambientais		Geração de Resíduos	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ESTÁGIO DE VIDA										
Extração da Matéria-Prima										
Obtenção do Produto										
Embalagem e Transporte										
Uso do Produto										
Reciclagem /Disposição										

Figura 2. 9 – Exemplo de quadro-matriz comparativo. (Adaptado de GRAEDEL & ALEMBY, 1995).

Nessa matriz, o eixo vertical corresponde ao estágio de vida dos materiais em estudo e o eixo horizontal se refere a relação entre o estágio de vida das opções em estudo, com a eficiência do processo, consumo de energia, os custos de produção, os custos ambientais e a geração de resíduos.

A auditoria deve ser iniciada com o primeiro estágio de vida, extração do material, para cada uma das relações associadas com aquele estágio, colocando o sinal positivo ou negativo seguido de um número como mostrado na figura 2. 8. Esse tipo de avaliação permite uma comparação entre um produto e o seu substituto, inclusive com a indicação das eficiências e custos dos processos como na figura 2. 9.

Nessa matriz, outras avaliações são feitas para os outros estágios do ciclo de vida. A análise conclusiva é feita após todos os elementos da matriz terem sido preenchidos e, a responsabilidade ambiental do projeto é indicada pela soma dos números da matriz. Quanto mais positiva, ou menos negativa seja a avaliação, mais adequado ambientalmente é o projeto.

No capítulo cinco, são apresentados os modelos hipotéticos de matrizes relacionadas somente ao estágio de vida “produção”, pois nos demais estágios, os impactos no uso, descarte e reuso, são os mesmos, o que tornaria as matrizes desnecessárias e repetitivas.

2.8 O Capital Natural, a Exploração dos Recursos Naturais e a Qualidade Ambiental

O capital natural pode ser definido como o produto do trabalho permanente executado por milhares e milhares de espécies em interação complexa. Pode ser encarado como a soma total dos sistemas ecológicos que sustentam a vida, e não pode ser produzido pela atividade humana (HAWKEN et al 1999). Deste conceito, deriva o de capitalismo natural, como visto no item 2.1.1, que apresenta uma estratégia empresarial que pode ser lucrativa e levar as empresas que a praticarem a ocupar posições de liderança e obterem vantagens competitivas mediante o uso apropriado dos recursos naturais e financeiros.

Segundo Hawken et al (1999), os economistas, em geral, insistem que os capitais, natural e manufaturado, são intercambiáveis e mesmo reconhecendo certa perda nos sistemas vivos, argumentam que as forças do mercado, combinadas com o engenho humano, hão de criar as necessárias adaptações tecnológicas para compensar tal perda.

Entretanto, Graedel e Allembly (1995), sugerem tentar imaginar tecnologias capazes de substituir:

- A conservação da diversidade biológica e genética;
- A purificação da água e do ar;
- O armazenamento, o ciclo e a distribuição de água potável;
- A manutenção e a migração e dos habitats da vida silvestre;
- A administração da erosão do solo e o controle da sedimentação;
- A prevenção de enchentes e a regulação das enxurradas;
- A formação do solo e a conservação de sua fertilidade.

Isto se reflete nos sistemas atuais de produção, onde a erosão do capital natural é permanente pela extração crescente dos recursos naturais, seu transporte e usos, assim como sua substituição por resíduo. Em contraposição, surgem os pressupostos básicos do capitalismo natural onde: “O meio ambiente não é um fator de produção sem importância, mas um invólucro que contém, abastece e sustenta o conjunto da economia” (Hawken, Lovins & Lovins, 1999).

Segundo Hawken et al (1999), em termos científicos não existe o fenômeno chamado produção, o que há é transformação. Neste processo, desconsiderando como são usados, espalhados ou dispersados os recursos ou energia, sua soma permanece essencialmente a mesma, de acordo com a Lei da Conservação da Massa e Energia ou primeira Lei da Termodinâmica. Esta lei, é de grande interesse porque significa que o termo “consumo” não passa de uma abstração, de uma ficção criada pelos economistas

Autores como Tietenberg e Merico, referenciados por Costa Matos (1997), compartilham deste ponto de vista, e afirmam que se o meio ambiente puder ser definido de uma maneira sistêmica, a sua relação com o sistema econômico pode ser considerada como um sistema fechado, onde o material do meio ambiente usado no sistema econômico, é acumulado neste ou volta à natureza como refugo. Entretanto, ainda segundo Costa Matos (1997), a geração de riquezas, a partir dos recursos naturais, resultam na perda da qualidade ambiental pela ação do ser humano, visando o lucro, ou simplesmente descaso e ignorância.

Para Hawkeen et al (1999), preocupar-se com os aspectos específicos da qualidade ambiental que o capital natural produz é muito mais útil que nos interrogarmos sobre a possibilidade do esgotamento dos recursos naturais. Esse conceito é importante, pois é da “qualidade” que a indústria se serve para criar valor econômico.

Paladini (2000), referencia que: “para definir corretamente qualidade, o primeiro passo é considerá-la como um conjunto de atributos ou elementos que compõem o produto ou serviço”. Para este autor, o conceito deve envolver dois elementos: multiplicidade de itens e processo evolutivo, sendo ambos referenciais básicos de uma atividade. Ainda segundo Paladini op.cit., a definição da qualidade envolve a idéia de centrá-la no consumidor. Quando esta é focada no consumidor, surgem as definições da EOQC – Organização Européia de Controle da Qualidade (1972), que atribui para qualidade “a condição necessária de aptidão para o fim a que se destina”; ou a de Juran e Gryna (1971) (apud Paladini,2000), que “qualidade é adequação ao uso”. A definição de Juran, assim como as de outros autores, vai de encontro ao cliente, que em última análise, faz uso do produto ou serviço.

Considerando o meio ambiente como um produto de consumo e a sociedade como consumidora potencial ou cliente, a qualidade ambiental pode ser definida como a adequação dos diversos sistemas naturais aos usos que a sociedade necessita. Como as atividades de mineração de agregados, nas formas que ocorrem, impõem perdas ambientais é apropriado considerar estas perdas como custos da qualidade do meio ambiente.

Nesse sentido, de acordo com Paladini (2000), produtos que poluem o meio ambiente configuram uma perda à medida que afetam negativamente pessoas que poderiam ser consumidores no futuro. Este ponto de vista abrangente do conceito de qualidade, que analisa seu impacto na sociedade e meio ambiente, tem origem na visão de Genich Taguchi, citado por Paladini (2000), que conceitua qualidade “como a perda monetária imposta à sociedade a partir do momento que o produto sai da fábrica”, ou seja, do ponto de vista de valor agregado, a qualidade de um produto é determinada “pelas perdas econômicas” que ele impõe à sociedade, em sua totalidade, desde o instante que o mesmo é posto à venda.

Entre estas perdas, podem estar os danos à sociedade em função dos impactos ambientais negativos, gerando custos ambientais, ou externalidades, cuja internalização propicia a oportunidade de reduzi-los, com ganhos no valor agregado e para meio ambiente. Para tanto, se faz necessário o uso de ferramentas que integrem, qualidade tecnológica do produto, qualidade ambiental e valor agregado, para o consumidor e para a sociedade. Entre estas ferramentas estão a ACV, que é um instrumento que encoraja as indústrias a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas aos sistemas de produção (CHEHEBE, 1998) e, a Análise de Valor, que permite identificar as funções de um produto, seus custos (inclusive os ambientais), sua performance quando comparado a um substituto (PEREIRA FILHO, 1994).

Nesse aspecto, Chehebe (1998), sugere que, “num enfoque holístico, as empresas devem procurar integrar a performance ambiental com os conceitos de qualidade e valor agregado para o consumidor” e para isso, propõe o uso da ACV.

Pereira Filho (1994), também aborda o tema, referenciando que empresas brasileiras que adotam a filosofia do Controle da Qualidade Total (TQC), utilizam a AV/EV, como instrumento de trabalho, para aperfeiçoamento da qualidade, com resultados na melhor adequação dos produtos ao uso esperado.

Nesse contexto, Hawkeen et al (1995), defensores do capitalismo natural, propõem quatro estratégias centrais como meios de habilitar os países, as empresas e as comunidades a operar comportando-se como se todas as formas de capital fossem valorizadas, que são:

1. A produtividade radical dos recursos que, oferece três vantagens significativas: desacelera o esgotamento natural dos recursos em uma extremidade da cadeia de valor, diminui a poluição na outra, e fornece as bases do crescimento do emprego em atividades significativas em todo o mundo;
2. O biomimetismo, que é a redução do uso dissipador de materiais, ou eliminação do desperdício;
3. Uma economia de serviço e de fluxo, que sugere uma alteração fundamental na relação entre produtor e consumidor;
4. Investimento no capital natural, que trata de reverter mundialmente a destruição do planeta.

Estas estratégias, bem como os pontos de vista abordados anteriormente, mostram um caminho possível para exploração dos recursos naturais, levando em conta as conseqüências

ambientais para o sistema como um todo. No caso específico da exploração de bens minerais, como a areia natural, a questão pode ser tratada da mesma maneira.

2.9 Tendências, Necessidades e Exigências Humanas

Existe, segundo Hawkeem et al (1999), uma relação histórica entre a melhoria do padrão de uma população e o aumento do uso de materiais. Entretanto, o crescimento da população no século passado em 3 vezes e o conseqüente crescimento no consumo de materiais 10 vezes, poderá inviabilizar o planeta.

Tais constatações, mostram que os avanços propiciados pela Revolução Industrial não vieram sem custo. Como exemplo, da massa de recursos e resíduos de minas, para a produção de produtos, mais de 90% foi descartada sem uso. Isto significa baixa eficiência no uso de recursos naturais, materiais, energéticos, financeiros e humanos (Hawkeem, Lovins & Lovins,1999).

Graedel e Allembly (1995), chamam a atenção, que ultimamente há uma tendência nos produtos modernos de utilizarem menores quantidades de materiais, e o desenvolvimento de novos produtos que realizam a mesma função que outros mais antigos. Por outro lado, as desigualdades regionais apontam para outra direção, quando se observa que grande parte da população no mundo ainda busca o atendimento das necessidades básicas. Como conseqüência, existe um grande potencial para as intervenções ambientais em função desse esperado aumento no uso dos materiais.

Nesse contexto, as empresas, de uma maneira geral, têm obtido sucesso em atender as necessidades dos seus consumidores, produzindo o que a sociedade necessita. Isto entretanto não veio sem custo, pois, se as relações dos sistemas industriais com a sociedade trazem benefícios, como a criação e expansão dos mercados, trazem também impactos ambientais. Por conseqüência, este sistema é pressionado pelas políticas governamentais e regulamentos e, mais amplamente, por questões como moral social (valores), condições econômicas e tecnológicas. Entretanto, o que se tem perdido é a relação entre as técnicas para satisfazer consumidores e as possíveis conseqüências ambientais (GRAEDEL E ALLEMBY,1995).

Neste cenário de conflito, entre produção e preservação, a atividade industrial tem sido responsável pelas exigências e necessidades da sociedade. Os termos exigências e necessidades têm uma variedade de significados e do ponto de vista do sistema industrial, ambos são considerados como forças motivadoras que geram demandas de produtos e podem ser modificadas por fatores sociais como, limitações econômicas, preocupações com relação a

danos ambientais e o estágio tecnológico (GRAEDEL E ALLEMBY,1995).

2.9.1 - Tendências na Tecnologia

Em função da escassez e dos conflitos com meio ambiente, Graedel e Allemby (1995), chamam a atenção para algumas tendências: a primeira é a progressiva “desmaterialização” dos produtos industriais, traduzida no uso de menos material para um determinado serviço ou função. O resultado é que, as projeções dos especialistas para usos de materiais, como os metais, não se concretizaram e, em países onde isto ocorreu, houve redução no consumo de energia; uma segunda tendência, é a “substituição” de materiais menos desejáveis por produtos ou materiais ambientalmente mais apropriados; e uma terceira, é a mudança no modelo de intensidade energética no tempo, com a chamada “descarbonatização”.

Apesar destas tendências, quando os fluxos antropogênicos são totalizados, numa varredura global das atividades industriais, suas magnitudes são enormes. No caso dos recursos minerais, estes são extraídos em grandes quantidades e uma vez extraídos não são repostos e, especificamente aqueles utilizados na indústria da construção civil, a situação é merecedora de preocupação, principalmente porque este setor normalmente é desenvolvido em ambientes não estruturados que envolvem muitos participantes e, que pouco tem feito para otimizar seus fluxos de materiais (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995). Como resultado, perde-se em média de 15 a 20% de todos os materiais levados aos locais de construção, gerando como consequência detritos que se tornarão parte do lixo sólido produzido pela humanidade. Estes detritos, apesar de normalmente não serem tóxicos, apresentam grande volume e representam também “lixo” de energia. Neste aspecto são também inúmeras as oportunidades de ganhos sociais e financeiros, o que entretanto não é objetivo deste trabalho.

Diante destas tendências, onde as questões ambientais tornam-se relevantes, a escolha entre duas opções alternativas deve levar em conta a avaliação das influências ambientais, o que pode ser executado utilizando metodologias como a AV e ACV, que podem estabelecer quais são as relações entre, produção, consumo e meio ambiente (CHEHEBE, 1998). Combinando os resultados das análises, feitas por várias metodologias, pode-se optar por um processo ou produto que tenha menor impacto. Nos EUA, o comitê consultivo para questões ambientais classificou os impactos numa escala de prioridades considerando:

- Problemas de Relativo Alto-Risco:

- Alteração e destruição do *habitat*;
- Extinção de espécies e perdas gerais da diversidade biológica;

- Depleção do ozônio estratosférico;
 - Mudanças climáticas globais;
- Problemas de Relativo Médio-Risco:
- Entre eles está o aumento da turbidez das águas superficiais.

Infelizmente, alguns processos para obtenção de determinados produtos minerais estão associados a impactos de médio a alto risco e, no caso específico da produção de areia em leitos de rio este potencial de risco é alto, pois envolve atividades que destroem *habitats* e reduzem a qualidade das águas dos rios pelo lançamento de efluentes com sólidos em suspensão.

2.10 – Considerações

Na análise da decisão de produzir determinado produto, surgem questões econômicas e não econômicas. Nas questões econômicas devem ser avaliados aspectos como, custos, eficiência de produção e os benefícios que o produto deve apresentar para o desempenho das funções requeridas.

Sob esse enfoque, buscar recursos que desempenhem as mesmas funções, com menor custo, é objeto da AV, que pode ser, de acordo com Abreu (1996), a ferramenta adequada para dar suporte a decisão de produzir um produto alternativo, como no caso da areia industrial.

Por outro lado, as questões não econômicas, como o meio ambiente, não podem ser ignoradas pois, na produção de areias é inevitável o surgimento de externalidades. Estas externalidades são custos que afetam o valor do bem produzido.

Surge portanto a necessidade de defini-las, assim como as eficiências dos processos envolvidos. Para tanto a utilização da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) como ferramenta, pode ser complementar à AV no suporte à decisão de produzir areia natural ou industrial.

Nesta análise, não podem ser desconsiderados os aspectos técnicos e normativos que envolvem os diversos usos da areia. Para tanto, no capítulo três a seguir, é apresentado um estudo comparativo entre a areia natural e industrial, sob o ponto de vista das normas NBR que regulamentam, a classificação, os índices de qualidade, e as propriedades exigidas para desempenho das funções requeridas do agregado.

As metodologias de AV e ACV serão as bases teóricas para o desenvolvimento do modelo a ser proposto no capítulo quatro, que poderá servir de suporte à decisão de produzir areia industrial a partir do rejeito de britagem.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AREIA NATURAL E AREIA INDUSTRIAL

3.1. A Classificação das Areias

As areias são definidas como materiais granulares, de origem natural ou industrial, relativamente inertes, classificadas em função de suas dimensões, que se associam a um material aglomerante para confeccionar elementos estruturais (SILVA, 2000). São também denominadas “agregados miúdos” de acordo com a NBR 7211(ABNT,1987).

Areias naturais são aquelas provenientes de jazidas naturais, tais como: depósitos fluviais de areia, cascalho e seixos (aluviões), depósitos de solos residuais ou provenientes de praias, dunas etc., onde os processos naturais de transporte e deposição selecionam o material granulometricamente. Areias industriais são aquelas provenientes de processos industriais, como britagem de rocha, que pode produzir tanto pedra marroada, quanto brita e/ou areia (NBR 6502; ABNT, 1980).

Com relação a granulometria, as areias são definidas como agregados miúdos, cujos grãos passam pela peneira de abertura de 4,8mm e ficam retidos na peneira de abertura de 0,075mm (NBR 7211; ABNT 1987). Sob esse aspecto, é de grande valia o conhecimento da composição granulométrica para a graduação da areia (SILVA,2000). Esta graduação admite quatro faixas granulométricas, que definem: areia muito fina, areia fina, areia média e areia grossa, ou zonas 1, 2, 3 e 4.

3.1.1. Propriedades Características dos Agregados Miúdos

Os agregados, que desempenham um importante papel na confecção de argamassas e dos concretos, apresentam as seguintes propriedades físicas (SILVA,2000):

- a) massa específica – é uma propriedade absoluta definida pela relação entre a massa dos grãos e o volume que estes grãos ocupam. Sua determinação é regulamentada pela NBR 9776 (ABNT, 1987);
- b) massa unitária – é definida pela relação entre a massa (peso) de um certo volume de agregado e este volume. Seu conhecimento é importante para as transformações dos traços em massa para volume e vice-versa e, é regulamentada pela NBR 7251 (ABNT, 1982);
- c) composição granulométrica - é a definição da porcentagem dos diversos tamanhos de grãos de um determinado material, objetivando a classificação, a graduação, dimensão

máxima e modo de finura. Como os agregados miúdos são os materiais que têm maior proporção nos concretos e argamassas, a sua classificação definirá qual o uso mais adequado do produto. Esta classificação é regulamentada pela norma NBR 7211(ABNT,1987). Dentro da composição granulométrica é definida a graduação em quatro faixas ou zonas: Zona 1 – areia muito fina; Zona 2 – areia fina; Zona 3 – areia média e; Zona 4 – areia grossa. A dimensão máxima é definida como sendo a dimensão correspondente à abertura da peneira que corresponda a uma percentagem retida igual ou inferior a 5%. O módulo de finura (MF), que é utilizado no cálculo da dosagem de concretos, é definido como sendo a somatória das percentagens acumuladas e retidas nas peneiras de série normal, dividindo-se o total por 100. Para a areia fina – $MF < 2,4$; areia média – $2,4 < MF < 3,9$; areia grossa – $MF > 3,9$.

- d) inchamento - é o fenômeno da variação do volume do agregado pela absorção de água, sendo maior para as areias mais finas. Segundo Silva (2000), o inchamento máximo ocorre para teores de umidade de 4% a 6%, depois desses teores decresce. É um fenômeno exclusivo dos agregados miúdos e, a determinação deste parâmetro é regulamentada pela NBR 6467 (ABNT,1987).

3.1.2. Índices de Qualidade dos Agregados Miúdos

A qualidade dos agregados pode, segundo Silva (2000), ser avaliada a partir de substâncias nocivas presentes num agregado. Dentre elas, pode-se citar: a matéria orgânica, os materiais friáveis, argila em torrões e material pulverulento (p.e. micas). Tais substâncias, quando em excesso, de acordo com Silva (2000), prejudicam a ação dos aglomerantes, diminuindo a resistência das argamassas e dos concretos.

3.1.2.1. Efeitos da matéria orgânica

Muitas vezes os agregados são contaminados por minúsculas partículas de substâncias de origem vegetal, que dependendo da quantidade chegam a escurecer o agregado (Silva,2000). Dentre os efeitos deletérios estão: a acidez gerada pela decomposição do húmus, que neutraliza a alcalinidade dos materiais cimentícios, prejudicando a pega e o endurecimento das argamassas e concretos e a perda da aderência pelo envolvimento do grão pela matéria orgânica (Silva,2000).

3.1.2.2. Efeitos da argila e materiais friáveis

A NBR 7218 (ABNT,1987), especifica que o teor de argila nos agregados miúdos, para produção de concretos, não deve ser superior a 1% para os concretos aparentes, 2% para os concretos sujeitos ao desgaste superficial e 3% nos demais. Isto porque, quando em excesso prejudica a resistência mecânica e durabilidade dos concretos (SILVA,2000).

Entretanto, para as argamassas, a presença dos finos, segundo Angelim (2000), confere alta trabalhabilidade e plasticidade. Segundo a NBR 7200 (ABNT,1982), antes de ser revisada, o teor máximo permitido de argila e materiais friáveis era de 5%. A versão atualizada dessa norma não mais estabelece limites e Angelim (op.cit.), pesquisando a adição de finos obtidos da britagem de calcário, micaxisto, granulito e saibro, na produção e dosagem de argamassas mistas de revestimento, em substituição a uma parcela de areia natural, concluiu que:

- a adição de finos facilitou a aplicação da argamassa;
- a adição melhorou a coesão interna e facilitou adesão inicial;
- a argamassa de micaxisto ofereceu certa dificuldade no processo de desempenho;
- a adição de finos aumentou o índice de consistência e;
- com exceção da argamassa de calcário, as argamassas de granulito e micaxisto requereram quantidades de água superiores a argamassa de referência.

Por fim, concluiu que a adição de finos é viável, desde que o teor da adição, para o calcário seja inferior a 40%, e para o micaxisto e granulito não deve ultrapassar a 35%.

3.2. Areia Natural

O processo de produção de areia natural é determinado pela natureza e tipo do depósito a ser explorado. Os depósitos por sua vez, são classificados de acordo com o seu modo de ocorrência, existindo os depósitos aluviais, que são aqueles encontrados nos leitos dos rios; e os depósitos eluviais/coluviais, oriundos da alteração da rocha com pouco ou nenhum transporte. Estes depósitos, são também denominados depósitos de sequeiro, e podem estar alçados topograficamente. Um outro tipo de depósito, deriva de acumulações aluviais de antigos leitos abandonados, que são explorados do mesmo modo que os depósitos de sequeiro.

3.2.1. Qualidade e Características Tecnológicas Exigidas e Apresentadas pela Areia Natural

Os agregados miúdos naturais são fundamentalmente de natureza silicosa, mas podem conter impurezas orgânicas ou inorgânicas que têm ações deletérias sobre as propriedades mecânicas dos produtos nos quais entram como matéria-prima (ANGELIM, 2000).

Os parâmetros que determinam a qualidade da areia e os usos potenciais da mesma, sejam para fabricação de argamassas ou concretos, são regulamentados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através das NBR. Estas normas estabelecem, o módulo de finura e dimensão máxima do grão, o grau de absorção, a massa específica, a abrasão *Los Angeles*, a composição granulométrica, o teor de materiais pulverulentos, o grau de impurezas orgânicas, o teor de argila em torrões, entre outros.

Com relação à qualidade, as NBR 7218 (ABNT,1987) e NBR 7219 (ABNT, 1987), estabelecem quais os índices devem ser analisados nos ensaios de qualidade da areia, e dentre estes índices, estão os teores de substâncias nocivas como, matéria orgânica, argila em torrões, materiais friáveis e material pulverulento, os quais quando em excesso prejudicam a ação dos aglomerantes, diminuindo de certa forma a resistência das argamassas e dos concretos (SILVA, 2000).

A pureza e a qualidade são avaliadas através de exames químicos e mineralógicos e, a determinação das características indica qual o uso mais adequado para um determinado tipo de areia (ANGELIM, 2000).

No caso específico das areias naturais, uma característica inerente a maioria das amostras é a contaminação por substâncias carbonosas orgânicas de origem vegetal, que em alguns casos chega a escurecer o agregado (SILVA, 2000), comprometendo a pega e o endurecimento das argamassas e concretos. Angelim (2000), aponta os mesmos problemas de qualidade, na sua pesquisa, quando estudou a influência dos finos nas argamassas. Na prática, a presença de matéria orgânica nas areias naturais não é controlada pelo consumidor comum que observa apenas a granulometria para o uso que deseja.

No que se refere granulometria, experimentos sugerem que as areias grossas (4,8 mm e 2,0 mm) sejam destinadas à fabricação de concretos, as médias (2,0 mm e 0,42 mm) e as finas (0,42 mm e 0,05 mm) para fabricar argamassa.

3.2.2. Avaliação dos Impactos Ambientais na Produção de Areia Natural

A extensão e o tipo de impacto causado ao meio ambiente por uma atividade de mineração, é segundo Taveira (1997), diretamente relacionada com o porte do empreendimento, a sua localização, as características sociais e ambientais do entorno, características da jazida e das tecnologias de lavra e tratamento utilizadas.

Na avaliação dos impactos ambientais relacionados à produção de areia natural, devem ser consideradas as formas de extração, que são desenvolvidas de acordo com as características do depósito, se: submerso ou aflorante e, a etapa de exploração da jazida.

Rossete (1996) lista vários impactos, oriundos da exploração de areia através de cavas, no município de Itaguaí-RJ, alguns positivos e outros negativos. Dentre os positivos estão: a geração de empregos (diretos e indiretos), o que segundo Marques (1996) apud Taveira (1997), para cada emprego direto na mineração, são gerados mais 3 empregos indiretos; a arrecadação de impostos e taxas, que no caso contribuem com 8% da arrecadação do município; e o abastecimento do mercado através de uma fonte segura e de baixo custo próxima do centro consumidor. Taveira (1997), aponta também o desenvolvimento econômico-social, como um impacto positivo com melhoria da qualidade de vida nas regiões onde ocorre a mineração, que além disso contribui para o desenvolvimento de outros setores, como por exemplo a construção civil.

Entretanto, segundo Rossete (1996), o impacto negativo mais significativo ocorre quando o depósito é exaurido, pois cessam os empregos, a arrecadação de impostos cai e, o mais grave as áreas não são reabilitadas para outros usos.

Além deste importante impacto, Rossete (1996) cita a remoção da vegetação para construção de acessos e instalações, a exposição do lençol freático pela abertura das escavações, a contaminação dos aquíferos por dejetos humanos, pela falta de instalações sanitárias adequadas, a contaminação por óleos combustíveis e lubrificantes derramados dos equipamentos, a descaracterização da paisagem pela construção dos silos, a criação de lagoas artificiais que são fontes de vetores de doenças como a dengue, além de ser áreas de risco (afogamentos), geração de poeiras, gases e ruídos, carreamento de sólidos que causam assoreamento nos canais e leitos dos rios e por fim interferências no sistema viário.

Fabianovicz (1998), cita também o desrespeito às áreas de preservação ao longo do leito dos rios, a inobservância de cuidados com a área de preservação com corte de espécies da vegetação protegidas por lei, a não estocagem do capeamento orgânico para reabilitação das áreas de extração, o não trabalhamento dos taludes nas bordas das cavas e o abandono das

áreas sem nenhum tipo de recuperação. Estas externalidades, normalmente não são computadas nos custos totais da produção de areia pelos métodos de dragagem ou escavação, e não são exclusividades dos casos citados.

3.2.3. Os Custos na Obtenção da Areia Natural

Para a definição do valor da obtenção da areia natural, é necessário que sejam definidos os custos incorridos no processo. Neste estudo, dois conceitos importantes são a definição dos custos e do método de custeio para apropriá-los. Além destes, é importante também definir a unidade de custo, que no caso de areia é o metro cúbico (m^3). Taveira (1997), estudando a distribuição dos custos na produção de minérios da SAMARCO Mineração S.A, propõe a utilização do método ABC (Custeio Baseado na Atividade), com a incorporação dos custos ambientais (externalidades) aos custos totais, caracterizando-os como custos variáveis.

Na produção de areia natural, apesar da maior parte dos empreendimentos ser de pequeno porte, a variável ambiental também é importante, e o método ABC parece ser o mais adequado como propõe Taveira (1997).

Aplicar o método ABC torna necessário conhecer e caracterizar as atividades envolvidas, o que pode ser feito através do mapeamento dos processos, associando-os aos seus custos, fixos e variáveis. Dentre os processos estão a dragagem do fundo dos rios e a escavação direta, que pode ser procedida da dragagem das cavas abertas quando estas atingem o freático. Na prática são atividades que têm custos semelhantes e que produzem externalidades semelhantes.

Além destes custos, o parâmetro mais importante para o custo da areia natural é o transporte. Estudos realizados pelo DNPM (2001), indicam que os custos com o transporte correspondem até 2/3 do preço final do produto, informações estas corroboradas por dados obtidos junto à Redimix (2002), que tomando por base R\$ 1,00 calcula no custo dos seus produtos um custo com o transporte igual a R\$ 0,13/ m^3/km .

Seguindo a proposta de Taveira (1997), nos dois itens a seguir, são relacionadas as formas de obtenção da areia natural e as atividades geradoras de custos que permitirão a utilização do método ABC. Nesse procedimento, estão incorporados os custos ambientais (externalidades) aos custos totais, porém não caracterizando-os como custos variáveis.

3.2.3.1. Os custos da dragagem para a produção de areia natural

A dragagem é um método de extração de areia, realizado através da sucção de sedimentos dos leitos dos rios. O processo de produção é relativamente simples e envolve três etapas: a extração através da sucção, utilizando um sistema motor/bomba; o peneiramento e armazenamento em silos e; carregamento e transporte. São atividades que podem ser correlacionadas como subprocessos com custos individualizados, conforme mostra a figura 3.1.

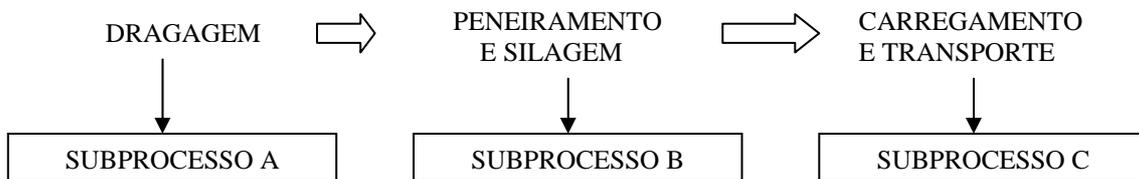


Figura 3.1 – Principais subprocessos envolvidos na obtenção de areia natural por dragagem.

Os subprocessos, por motivo de simplificação operacional do método, serão denominados de atividades para permitir a correlação destas com os respectivos custos envolvidos, inclusive os custos ambientais, como na figura 3.2.

Embora Taveira (1997), proponha a incorporação dos custos ambientais nos custos variáveis, na produção de areia por dragagem, nem sempre é possível estabelecer uma correlação direta entre a produção e o impacto ambiental identificado com a atividade. A título de exemplo, na atividade dragagem, os custos ambientais com a redução da turbidez das águas de retorno ocorrem apenas uma vez, quando da construção do sistema de decantação do efluente. Da mesma maneira os outros custos ambientais identificados, como a remoção da vegetação das áreas ocupadas pelos depósitos e a construção de acessos, ocorrem uma só vez.

ATIVIDADE	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS AMBIENTAIS
DRAGAGEM	- DEPRECIAÇÃO - MÃO-DE-OBRA	- COMBUSTÍVEL - MANUTENÇÃO DO MOTOR - MANUTENÇÃO DA BOMBA	-GASTOS COM A REDUÇÃO DA TURBIDEZ DAS ÁGUAS DE RETORNO
PENEIRAMENTO	- DEPRECIAÇÃO	- MANUTENÇÃO DAS PENEIRAS - CONSTRUÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS SILOS - EVENTUALMENTE ENERGIA ELÉTRICA	-GASTOS COM O DESMATAMENTO -DECAPEAMENTO DO SOLO - REFLORESTAMENTO - RECUPERAÇÃO DAS MARGENS
CARREGAMENTO E TRANSPORTE	- DEPRECIAÇÃO - MÃO-DE-OBRA - INSTALAÇÕES	- COMBUSTÍVEL - MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS - ABERTURA DE ACESSOS - MANUTENÇÃO DE ACESSOS	- RECUPERAÇÃO DOS SOLOS -REFLORESTAMENTO - CONTROLE DA EMISSÃO DE GASES

Figura 3.2 – Correlação entre as atividades e os custos no processo de extração de areia por dragagem.

3.2.3.2. A escavação para a produção de areia natural e seus custos

A produção de areia por escavação ocorre quando as concentrações desse bem mineral situam-se em planícies aluvionares, dunas ou encostas de morros, utilizando-se da escavação direta, ou escavação direta seguida de dragagem da cava quando o depósito atinge o lençol freático.

O método de escavação pode ser reportado em quatro etapas: a escavação propriamente dita, utilizando tratores de esteira ou pás-mecânica, o peneiramento do material a úmido ou a seco, o manejo do material peneirado, e o carregamento e o transporte para o consumo. Quando o freático é atingido o trator de esteiras ou pá-mecânica é substituído por uma draga flutuante. Desse modo, quatro atividades podem ser discriminadas, com seus respectivos custos fixos e variáveis identificados. Entre os custos estão as externalidades de cada atividade como mostrado na figura 3.3.

ATIVIDADE	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS AMBIENTAIS
ESCAVAÇÃO DIRETA OU DRAGAGEM	- DEPRECIÇÃO DO EQUIPAMENTO - MÃO-DE-OBRA	- COMBUSTÍVEL - MANUTENÇÃO DO MOTOR - MANUTENÇÃO DA BOMBA	-GASTOS COM A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS DO FREÁTICO; -GASTOS COM A POLUIÇÃO DO SOLO.
PENEIRAMENTO	- DEPRECIÇÃO DAS PENEIRAS - CONSTRUÇÃO DOS DEPÓSITOS	- MANUTENÇÃO DAS PENEIRAS - EVENTUAIS GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA	-GASTOS COM O DESMATAMENTO DO SOLO -DECAPEAMENTO DO SOLO -GASTOS COM O REFLORESTAMENTO - RECUPERAÇÃO DOS ACESSOS
MANEJO DO MATERIAL LAVRADO	-DEPRECIÇÃO DO EQUIPAMENTO - MÃO-DE-OBRA	- COMBUSTÍVEL - MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO	- RECUPERAÇÃO DOS SOLOS -REFLORESTAMENTO - RECUPERAÇÃO DOS ACESSOS
CARREGAMENTO E TRANSPORTE	- DEPRECIÇÃO - MÃO – DE – OBRA - INSTALAÇÕES	- COMBUSTÍVEL - MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS - ABERTURA DE ACESSOS - MANUTENÇÃO DE ACESSOS	- RECUPERAÇÃO DOS SOLOS -REFLORESTAMENTO - RECUPERAÇÃO DOS ACESSOS - CONTROLE DA EMISSÃO DE GASES

Figura 3.3 – A correlação entre as atividades e os custos no processo de extração de areia por escavação direta.

3.3. Areia industrial

São denominadas areias industriais, os agregados miúdos obtidos pela trituração mecânica das rochas, empregando-se geralmente os resíduos de britagem (pedrisco), que é peneirado e classificado, ou ainda pela lavagem da brita nos primeiros estágios de peneiramento.

Este material, apesar da rejeição que ainda encontra no mercado, vem sendo progressivamente utilizado em maior quantidade em função da redução das fontes de areia natural. Unikowski (1982) , referenciado por Angelim (2000), previa, no início da década de 80, um aumento na utilização desses agregados. Vinte anos depois, pode-se constatar o

emprego cada vez maior dos agregados miúdos industriais na produção de argamassas industrializadas e concreto (ANGELIM, 2000).

Segundo Mineropar (2000), as areias industriais são classificadas em silicosas, calcárias ou vulcânicas, conforme o material (rocha) que lhes deu origem, ou ainda considerando a angulosidade dos grãos, arredondadas ou vivas (angulosas), e a morfoscopia dos grãos, se esféricos, cúbicos, em forma de placas ou agulha.

Para a areia industrial ser considerada como adequada ao uso, ela deve reunir a menor (melhor) angulosidade dos grãos e maior pureza (MINEROPAR, 2000). Segundo Angelim (2000), os grãos angulosos e o excesso de material pulverulento são restritivos aos usos desse tipo de agregado.

3.3.1. Os Processos de Produção de Areia Industrial

A produção da areia industrial pode ser realizada através de operações mineiras para produção de rocha britada, que envolvem: o decapeamento do maciço rochoso, o desmonte do maciço com explosivos, operações de carregamento e transporte até os britadores, britagem/moagem e, posterior classificação através de um sistema composto por peneiras interligadas por correias transportadoras. Um outro processo, bem mais simples, é o aproveitamento dos rejeitos da britagem, o denominado pedrisco, que pode ser classificado por meio de peneiras, a seco ou a úmido através da simples lavagem, com remoção do material abaixo de 200 *mesh* (GONÇALES et al, 2000).

Um outro método, também muito eficiente, é a obtenção da areia industrial pela lavagem da brita, nos primeiros estágios do processo de britagem, com posterior separação do material pulverulento (*filler*) do agregado miúdo por meio de classificadores em meio aquoso ou a seco.

Segundo Gonçalves et al (2000), um número crescente de pesquisas vêm sendo desenvolvidas no Brasil e exterior, visando o aproveitamento dos finos de britagem (“pó-de-pedra”) para a obtenção de areia industrial, com objetivo de agregar maior valor à produção de brita. Qualquer uma das formas de obtenção do produto, gera impactos ambientais, como será abordado no próximo item.

3.3.2. Características Tecnológicas, Qualidade Exigidas e Apresentadas pela Areia industrial

Um argumento utilizado pelo mercado para o não consumo sistemático da areia industrial é a sua inadequação para os diversos usos, em função de algumas características apresentadas por este material.

Gonçales et al (2000), citam que o pó-de-pedra empregado para produzir areia de brita pode apresentar, entre as características indesejáveis, deficiências de faixas granulométricas específicas, natureza lamelar (ou alongada) e angulosidade dos grãos. Segundo Gonçales et al (2000), o agregado miúdo com estas características, quando utilizado para fabricação de concreto, têm efeito significativo na diminuição da trabalhabilidade do produto e no aumento do consumo de cimento.

De acordo com Angelim (2000), os agregados miúdos devem contribuir para otimizar as propriedades da argamassa, a durabilidade e textura final do revestimento. Se forem de granulometria inadequada ou ainda conterem impurezas, podem prejudicar o desempenho das argamassas e provocar manifestações patológicas nos revestimentos.

Da mesma forma que Gonçalves (op.cit.), Angelim (2000), referencia que os agregados miúdos artificiais apresentam grãos com arestas vivas, o que restringe seu uso, tanto para concreto, quanto para argamassas, pois geralmente não apresentam boa trabalhabilidade e nem permitem uma boa compacidade. Segundo este autor, estudos de laboratório indicam que os índices de vazios nas argamassas e concretos chegam a atingir 15%, quando se utiliza areia industrial.

No que se refere aos materiais finos (*filler*), partículas com dimensão inferior a 0,075mm presentes nas areias industriais, Angelim (2000), afirma que estes não devem estar presentes em quantidades excessivas, porque aumentam a demanda de água necessária à molhagem das partículas na mistura aglomerante-agregado. Sobre isso, a NBR 7200 (ABNT,1982), estabelecia, antes de ser revisada, um limite de 5% para o teor máximo de finos nos agregados para as argamassas.

Entretanto, as pesquisas de Angelim (2000), sobre a possibilidade de utilizar os finos produzidos pela areia industrial nas argamassas, foram conclusivas e estabeleceram novos valores para os teores desse material, que dependendo da composição mineralógica da rocha que deu origem ao agregado, podem chegar a um máximo que varia entre 35% e 40%.

Nas faixas granulométricas superiores a 0,075mm, a experiência prática da REDIMIX, que há dez anos vem substituindo a areia natural na fabricação de concreto usinado, mostra a viabilidade técnica do uso da areia industrial no concreto sem comprometer seu desempenho.

Gonçales et al (2000), afirmam que cresceram no Brasil e exterior as pesquisas que visam o aproveitamento dos finos da britagem para produzir areia industrial, cujas características podem ser melhoradas através da utilização de britadores autógenos de impacto vertical (*Vertical Shaft Impactor-VSI*). Entre as melhorias observadas podem ser citadas, a melhor cubicidade dos grãos, a melhoria na curva granulométrica, além da redução dos custos operacionais. Nos Estados Unidos, segundo Minérios e Minerais (2000), existem centenas de instalações de areia de brita que utilizam este sistema com sucesso, produzindo areia de qualidade.

No Brasil, Gonçales et al (2000), apresentam como exemplo de mudança no processo de produção, a pedreira Itapeti da Embu S.A. em São Paulo, que a partir de abril de 2000, passou a produzir areia de brita em escala industrial, inclusive com flexibilização da unidade de britagem, adequando a planta de beneficiamento para a produção de determinadas faixas de materiais, conforme a demanda de mercado.

3.3.3. Avaliação dos Impactos Ambientais na Produção de Areia industrial

Assim como na produção de areia natural, impactos ambientais também são gerados para produzir areia industrial. Entre eles, estão aqueles relacionados à produção de brita e que podem ser correlacionados as etapas do processo de mineração desse produto.

As operações mineiras envolvidas na produção de brita são: decapeamento, desmonte, carregamento e transporte, britagem e peneiramento, que produzem os impactos, conforme a figura 3.4.

Deve ser observado que, quando se considera a produção de areia industrial a partir dos rejeitos da brita, alguns impactos da produção de brita podem ser reduzidos, ou até mesmo eliminados. Esta prática pode contribuir para redução dos custos globais, melhorar a eficiência do processo de britagem, e também dos indicadores ambientais.

Entretanto, tais impactos, podem ser reduzidos ou eliminados por tecnologias disponíveis, através de ações simples e de baixo custo. Sob este aspecto, em relação ao meio ambiente, Lemos (2001), chama a atenção que as empresas de mineração evoluíram da atitude reativa para a ênfase na minimização de resíduos, ou sua utilização como subproduto. Ainda segundo Lemos (2001), a adoção de tecnologias mais limpas, ou simplesmente um bom sistema de gestão ambiental (*good house keeping*) numa unidade produtora, além de melhorar seu desempenho, reduz seus custos de produção, tornando-as mais competitivas.

OPERAÇÃO	DECAPEAMENTO	DESMONTE	CARREGAMENTO E TRANSPORTE	BRITAGEM E PENEIRAMENTO
IMPACTOS AMBIENTAIS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Remoção da vegetação ➤ Remoção dos horizontes férteis ➤ Compactação do solo ➤ Rebaixamento do freático ➤ Geração de ruídos ➤ Geração de poeiras ➤ Emissões de CO₂ pela queima de combustível ➤ Descaracterização da paisagem 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uso de explosivos por pessoas não habilitadas ➤ Acidentes de trabalho ➤ Vibrações ➤ Ultralanchamentos ➤ Emissões de poeiras e gases 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Remoção da vegetação para abertura de acessos ➤ Geração de ruídos ➤ Geração de poeiras ➤ Emissões pela queima de combustível 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Geração de poeiras ➤ Geração de ruídos ➤ Geração de rejeitos ➤ Consumo de água ➤ Geração de efluentes

Figura 3.4 – Impactos gerados pelas atividades produtoras de brita / areia industrial

3.3.4. Os Custos na Produção de Areia industrial

Muito se questiona sobre a economicidade de produzir areia industrial, quando existem ainda fontes de areia natural relativamente abundantes. Em algumas regiões, como é o caso da macro-região de Goiânia e Brasília, elas ficam distantes e o custo do transporte torna o preço da areia natural muito alto, o que inviabiliza sua utilização em argamassas e concretos.

Em São Paulo a areia industrial tornou-se competitiva justamente pela redução do custo com o transporte, o que elevou a participação dessa areia para 10% do mercado de agregados no ano de 2000, segundo DNPM (2001).

A areia industrial pode ser obtida por métodos que envolvem a adição ou incorporação de equipamentos ao processo de obtenção de brita, gerando sub-processos, que podem ser mapeados e correlacionadas com atividades específicas, conforme mostra a figura 3.5.

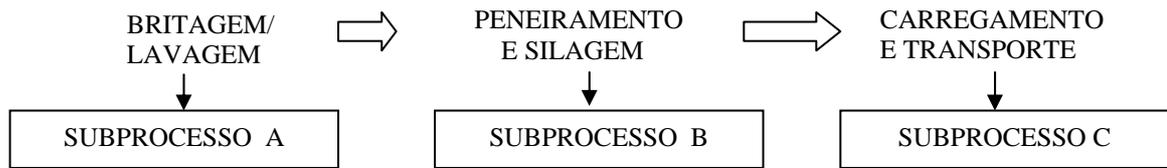


Figura 3.5 – Subprocessos envolvidos na obtenção de areia industrial por britagem de rocha.

A figura 3.6 sintetiza as atividades envolvidas na produção de areia industrial, cada uma com os seus custos fixos, variáveis e os custos ambientais.

ATIVIDADE	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS AMBIENTAIS
BRITAGEM/LAVAGEM	- DEPRECIÇÃO - MÃO-DE-OBRA	- CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - MANUTENÇÃO DO MOTOR - MANUTENÇÃO DA BOMBA - CONSUMO DE ÁGUA	-GASTOS COM A REDUÇÃO DA TURBIDEZ DAS ÁGUAS DE RETORNO -MANEJO DO FILLER NOS TANQUES - PERDA DE ÁGUA
PENEIRAMENTO E SILAGEM	- DEPRECIÇÃO - MAO-DE-OBRA - CONSTRUÇÃO DAS INSTALAÇÕES	- MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	-CONSUMO DE ÁGUA -CONSTRUÇÃO DOS TANQUES DE LAMA - REFLORESTAMENTO OU CONSTRUÇÃO DE CORTINAS VERDES
CARREGAMENTO E TRANSPORTE	- DEPRECIÇÃO - MÃO – DE – OBRA - INSTALAÇÕES	- COMBUSTÍVEL - MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS - ABERTURA DE ACESSOS - MANUTENÇÃO DE ACESSOS	- CONTROLE DE EMISSÃO DE GASES

Figura 3.6 – A correlação entre as atividades e os custos no processo de obtenção de areia industrial.

Na figura, apesar dos custos ambientais estarem separados, alguns desses custos irão variar com a produção e devem, segundo a proposta de Taveira (1997), ser incorporados aos custos variáveis.

3.4. Benefícios dos Usos da Areia Industrial

3.4.1. Estudos de Viabilidade Técnica

Entre os vários estudos de viabilidade sobre o aproveitamento das areias industriais, produzidas a partir do pó-de-brita, destacam-se os testes tecnológicos que a Svedala realizou em seus laboratórios em Sorocaba (SP), com o material da Pedreira Itapeti da Embu S.A.(GONÇALES, 2000). Estes testes visaram a melhoria das características dos grãos através de uma planta-piloto de processamento que utilizou um britador do tipo VSI (impactador vertical) e análises de distribuição granulométrica, visual comparativa com lupa, ensaios de escoamento e ensaios de plasticidade.

Os testes e ensaios realizados com as amostras da areia, obtidas a partir da britagem na planta-piloto, constataram uma efetiva melhora na qualidade dos grãos, no que se refere à forma e variação na curva granulométrica. Do ponto de vista do consumidor de agregado (concreteira), o material apresentou uma melhor trabalhabilidade, melhor acabamento do concreto, melhor compacidade (< índice de vazios) e menor consumo de pasta (GONÇALES,2000).

Um trabalho de grande magnitude é o Projeto ICAR-102, referenciado por Ohashi (2001). Este trabalho, executado em parceria, pela *Vulcan Materials Technical Services*, uma das maiores produtoras de agregados dos Estados Unidos, a Universidade do Texas-Divisão ICAR (*International Centre of Aggregate Reserach*) e a Svedala Barmac (fabricante de VSIs autógenos), mostrou que as areias de brita com altas porcentagens de finos, não só são viáveis como melhoram várias características importantes dos concretos e podem trazer economia de cimento. Os trabalhos demonstraram também, que produzir areias de brita pode contribuir para eliminação de graves problemas ambientais e dos custos associados à produção de areia.

3.4.1.1. Aspectos positivos da produção de areia industrial

A areia e pedra britada caracterizam-se pelo baixo valor agregado, grandes volumes produzidos e pela forte influência do transporte no custo e preço final do produto, o que impõe a necessidade da produção ficar a mais próxima possível do centro consumidor (MINÉRIOS & MINERALES, 2000). Como as pedreiras estão localizadas mais próximas do mercado, a areia industrial tem se tornado competitiva, pois, a redução do custo com o transporte barateia o produto para o consumidor final.

Outro aspecto relevante e que torna as areias industriais competitivas, segundo Minérios & Minerales (2000-b), é a qualidade insatisfatória das areias naturais em função da contaminação por material orgânico e a distribuição granulométrica inconstante, tornando seu uso problemático nos sistemas de concreto com características mecânicas controladas. Por estes aspectos fica evidente o potencial para a produção de areia de brita.

Atualmente a atividade empresarial está sujeita a pressões antagônicas, como a de satisfazer as necessidades da sociedade e às exigências da própria sociedade de ter um meio ambiente saudável. A exigência de controles ambientais mais eficientes pode influir negativamente na rentabilidade de qualquer operação industrial (COSTA JÚNIOR, 2001). Outras pressões são, a do mercado que exige preços mais atraentes e a do investidor que exige remuneração cada vez mais alta do capital empregado.

É nesse ambiente, que a produção de areia a partir dos rejeitos da britagem se torna competitiva, pois o aproveitamento dos rejeitos traz alguns benefícios imediatos, conforme a seguir:

- redução dos custos das unidades de britagem;
- melhor controle ambiental da produção de areia;
- manutenção das características e propriedades dos agregados, com melhor controle de qualidade na produção de concretos e argamassas;
- controle dos custos dos processos e;
- redução do preço para o consumidor final.

Apesar de todos estes benefícios, o mercado ainda desconsidera a utilização sistemática desse produto, em virtude das características da maioria dos agregados artificiais produzidos ainda não serem adequadas aos diversos usos.

3.4.1.2. Aspectos negativos da produção de areia industrial

Um dos argumentos para a não produção em grande escala da areia de brita, refere-se aos sistemas de produção existentes que não atendem a dois requisitos básicos: a qualidade do produto, que não apresenta curva granulométrica adequada e formato de grão cúbico e arredondado; e altos custos de produção (MINÉRIOS E MINERALES, 2000-b1). Segundo esta publicação, inúmeras pedreiras produzem finos porém, são poucas as que conseguem produzi-los na quantidade e qualidade necessárias, além de não produzir a custos compatíveis com os preços de mercado.

Os problemas mais comuns da qualidade, são o mau formato das partículas, com ocorrência de grande quantidade de lamelas e material alongado e a deficiência de algumas faixas de finos, o que implica na produção de areia grossa. Quanto aos custos de produção, estes podem sofrer incremento com o aumento dos custos de manutenção pelo desgaste excessivo dos equipamentos no processo de fabricação da areia industrial (Minérios e Minerale, 2000-b1).

Outro aspecto a ser considerado é o ambiental. Para Caçavana (2000), são condições fundamentais para a produção de areia industrial pela lavagem do pó-de-pedra: a existência de água em abundância e grandes áreas para os depósitos de lama, se for levado em consideração que o *filler* pode representar de 15% a 20% da produção de uma pedreira.

A utilização da água é problemática, pois segundo Caçavana (2000) para cada m³ de areia industrial produzida é necessário 1,0 m³ de água nova, ficando 80% desse volume retido na argila depositada no tanque e 4% a 5% são despendidos no processo em forma de perdas e de umidade contida na areia produzida. Estes 80% de umidade das argilas, com o passar de semanas ou meses caem para 50%, assim permanecendo indefinidamente com este percentual (CAÇAVANA, 2000). Esta alta umidade pode inviabilizar a utilização desse material pela indústria cerâmica, principalmente onde haja oferta abundante de argila natural a baixo custo.

3.4.2. Os Custos Ambientais- Externalidades e Financeiros

Como a produção de areia industrial está intimamente ligada a britagem de rocha, os custos de sua produção estão associados aos custos operacionais e ambientais de uma planta de britagem qualquer.

No atual mercado cada vez mais competitivo, onde o consumidor busca o melhor produto a um menor preço e a sociedade impõe rigorosos controles ambientais, as empresas na busca da sobrevivência, procuram agressivamente reduzir seus custos operacionais (NIKLEWSKI, 2001). Esta imposição de nível de preço e de controle ambiental, segundo Costa Júnior (2001), não deixa de influir negativamente na rentabilidade de qualquer operação industrial, o que impõe a necessidade de avaliar os custos de todo o sistema.

No caso de uma pedreira, Niklewski (2001), cita que o primeiro passo para obtenção dos custos deve ser uma análise de valores dos processos operacionais da planta de britagem. Para este autor, os custos para as atividades de britagem, desmonte e transporte são

respectivamente, 35%, 25% e 40%. Entre esses custos estão inclusos os custos ambientais gerados por cada atividade.

Nas plantas de britagem Niklewski (2001) cita que os controles ambientais consistem em:

- Controle de ruído;
- Controle da poluição do ar e água;
- Tratamento dos rejeitos e;
- Outros danos causados à natureza.

São itens que exigem investimentos significativos e ainda acarretam inconvenientes operacionais (COSTA JÚNIOR, 2001). No caso da produção de areia industrial nas instalações de britagem, há ainda a incorporação de outros custos pela adição de equipamentos de lavagem e classificação para o processo de produção.

Nesta incorporação de equipamentos, são gerados custos operacionais adicionais com mão-de-obra, depreciação de equipamentos, energia, manutenção, além de externalidades, tais como a necessidade de água, cujo retorno ao sistema de origem é de apenas 20% (CAÇAVANA, 2000). Outras externalidades se relacionam à construção e manutenção dos tanques de lama (“*filler* + água”). Este material, se não tiver aproveitamento, poderá gerar outros custos, pelo manejo do *filler* e manutenção dos tanques através de operações de desasoreamento.

Para Caçavana (2000), os sistemas simples e baratos para lavagem de brita começam com investimentos da ordem de US\$ 200 mil e os custos de produção nas unidades de britagem ficam pelo menos 30% maiores, em função do aumento no consumo dos insumos como a energia elétrica.

No caso dos sistemas de produção de areia industrial por “via seca”, Caçavana (2000) argumenta que a utilização de britadores de impacto vertical (VSI), eleva os custos com energia, apresenta baixa eficiência e alto custo operacional. Conclui ainda que, o custo operacional do equipamento varia entre US\$ 0.75 e US\$ 1.0 por metro cúbico processado, o que equivale a três vezes o custo da brita produzida.

Outro aspecto que onera a produção das pedreiras é o não balanceamento entre os estágios de produção, que forma gargalos, cuja remoção traz a oportunidade de redução dos custos, com melhoria da eficiência do processo, gerando ganhos financeiros (COSTA JÚNIOR, 2001). Com os preços fixados pelo mercado e os custos crescentes com o meio

ambiente, o caminho para manter a rentabilidade é, segundo Costa Júnior (2001), a redução dos custos operacionais e aumento no volume produção/vendas.

Apesar das questões referenciadas, vários trabalhos sobre o aproveitamento dos rejeitos de britagem para produção de areia industrial, vêm sendo executados no sentido de demonstrar que este processo é viável, técnica e financeiramente, pois na produção desse material os custos de produção estão diluídos nos custos de produção da brita. No presente trabalho pretende-se demonstrar, através da aplicação do modelo proposto, que a areia industrial pode ter as mesmas funções de uso que a areia natural, apresentar em determinadas circunstâncias maior ou igual valor econômico, reduzir as externalidades inerentes à produção de areia natural e contribuir com o desenvolvimento sustentável.

Com relação as externalidades, a produção de areia industrial a partir do pó-de-pedra, pode reduzir as externalidades das pedreiras pela eliminação das pilhas de rejeitos, tornando-as mais competitivas, tanto no aspecto custos de produção, quanto no aspecto ambiental. Estas reduções de custos podem se refletir no preço do produto para o consumidor final, com redução de preço dos produtos onde a areia é insumo, gerando valor tanto para o produtor, quanto para o consumidor.

3.4.3. As Implicações do Aproveitamento do Pó-de-Pedra para Obter Areia Industrial

Várias são as implicações pelo aproveitamento do pó-de-brita (rejeito) para a produção de areia industrial. Entre estes, destacam-se a melhoria da eficiência do processo de produção de brita, pela incorporação dos ganhos relativos à produção de areia, a melhoria da eficiência energética e aproveitamento da matéria-prima (rocha), a melhoria da qualidade ambiental pela redução das áreas de exploração areia natural e para a qualidade do produto, que pode ter suas características controladas no processo de produção.

3.4.3.1. Implicações econômicas para o processo de produção de brita

Autores, como Caçavana (2000) citam que a produção de rejeito numa unidade produtora de brita é bastante alta, podendo atingir entre 40% e 50% da produção de uma planta de agregados. Desse total, 60% são constituídos de areia e 40% de material com granulometria abaixo de 200 *mesh*, ou seja argila e silte. Em geral, este material tem aproveitamento restrito o que implica em volumes significativos de rejeito. Esta situação, do

ponto de vista da sustentabilidade e da ecologia industrial, conforme Graedel e Allenby (1995), indica baixa eficiência do processo produtivo de brita.

Do ponto de vista destes autores, as medidas de eficiência das unidades produtoras de brita podem ser avaliadas e comparadas, considerando, a produção somente de brita e a produção de brita e areia industrial, como a seguir.

As medidas de eficiência que podem ser avaliadas para as pedreiras são, extração eficiente; fabricação eficiente; recuperação eficiente e; eficiência do sistema. Para efeito dos cálculos de eficiência serão considerados os parâmetros referenciados por Caçavana (2000): aproveitamento geral para cada tonelada de rocha processada é 60% de brita, 15% de “*filler*” e 25% de areia.

Utilizando a metodologia proposta por Graedel e Allenby (1995) para calcular as eficiências, desconsiderando o aproveitamento da areia industrial, os valores obtidos seriam:

a) Extração eficiente (t) – é função da tecnologia de extração, dos fluxos de resíduos de alta – qualidade (solo com fração arenosa + fragmentos de rocha). Esse parâmetro pode ser calculado de acordo com a equação 8, considerando:

V = Material Virgem = rocha (1,0 tonelada)

M = Material Processado = rocha (1,0 tonelada)

P = Produto = brita (0,6 tonelada)

I = Material Impuro = pedrisco + “*filler*” (0,4 tonelada)

W = Lixo Produzido = *filler* (0,15 tonelada)

Se nenhum material virgem é usado e nenhum resíduo é produzido $t = 1$. Entretanto, quando se considera que o aproveitamento geral numa pedreira é de 50% a 60% os valores encontrados para (t) ficam:

$$t = 1,0 / (1,0 + 0,4) = 0,714 \text{ ou } 71,4\%$$

b) Fabricação Eficiente (μ) – é uma função do projeto, produto e processo, e suas implementações. Nesse caso o rejeito pode ser considerado como “lixo” ou resíduo. Para o caso do não aproveitamento do resíduo para produzir areia, utilizando a equação 8, os valores encontrados para (μ) são:

$$\mu = P / P + W_m \quad (9)$$

$$\mu = 0,6 / 0,6 + 0,5 = 0,545 \text{ ou } 54,5\%$$

Onde W_m = fluxo de massa do resíduo do processo de fabricação. Se nenhum resíduo é gerado no processo $\mu = 1$.

c) Recuperação eficiente (ρ) – é função do projeto do produto, política governamental, e mercado de materiais recicláveis.

$$\rho = S / S + W_c \quad (10)$$

Não é o caso, mas, se todo o material fosse reciclável ρ seria = 1.

d) Eficiência do Sistema (σ) –

$$\sigma = (t + \mu + \rho)/3 \quad (11)$$

Num sistema perfeito de ecologia industrial, no qual todos os materiais são fornecidos por reciclagem $\sigma = 1$. No caso das pedreiras como ρ seria igual a zero o valor de (σ) seria:

$$\sigma = (71,4\% + 54,5\% + 0,0\%)/2 = 62,95\%$$

Calculando a eficiência do sistema considerando, com aproveitamento da areia industrial e somente o “filler” como resíduo, os valores são:

a) Extração eficiente (t) – da mesma maneira, dependerá da tecnologia de extração, dos fluxos de resíduos de alta – qualidade (solo com fração arenosa + fragmentos de rocha), e especificações do produto. Considerando o aproveitamento da areia como subproduto:

V = Material Virgem = rocha (1,0 tonelada)

M = Material Processado = rocha (1,0 tonelada)

P = Produto = brita + areia (0,6 + 0,25 toneladas)

I = Material Impuro = “filler” (0,15 tonelada)

W = Lixo Produzido = filler (0,15 tonelada)

Se nenhum material virgem é usado e nenhum resíduo é produzido $t = 1$. Entretanto, quando se considera que o aproveitamento na pedreira seja de 85% os valores encontrados para (t) ficam:

$$t = 1,0/1,0 + 0,015 = 0,869 \text{ ou } 86,9\%$$

b) Fabricação Eficiente (μ) – é uma função do projeto, produto e processo, e suas implementações e nesse caso o “filler” pode ser considerado como “lixo” ou resíduo. Para o caso do não aproveitamento do resíduo para produção de areia os valores encontrados para (μ) são:

$$\mu = P / P + W_m$$

$$\mu = 0,85/0,85 + 0,15 = 0,85 \text{ ou } 85\%$$

Onde W_m = fluxo de massa do resíduo do processo de fabricação. Se nenhum resíduo é gerado no processo $\mu = 1$.

c) Recuperação eficiente (ρ) – é função do projeto do produto, política governamental, e mercado de materiais recicláveis.

$$\rho = S / S + W_c$$

Não é o caso, mas, se todo o material fosse reciclável ρ seria = 1.

d) Eficiência do Sistema (σ) – $\sigma = (t + \mu + \rho)/3$

Num sistema perfeito de ecologia industrial, no qual todos os materiais são fornecidos por reciclagem $\sigma = 1$. Como no Brasil ainda não existe uma cultura de reciclagem dos resíduos da construção civil, ρ é igual a zero e o valor de (σ) seria:

$$\sigma = (86,9\% + 85,5\% + 0,0\%)/2 = 85,95\%$$

Embora os valores possam variar, para mais ou para menos, os números indicam uma melhora de eficiência no sistema, quando se incorpora a produção de areia industrial à produção de brita. Caso se incorpore o *filler*, mesmo que parcialmente, a tendência é melhorar ainda mais a eficiência do sistema.

3.4.3.2. As implicações da produção da areia industrial para o uso racional de energia

Outra maneira de tornar o sistema mais eficiente é reduzir os custos com o consumo de energia, otimizando seu uso.

A cominuição de minerais por britagem é um processo que se caracteriza pelo alto consumo de energia e segundo Niklewski (2001), a produção de agregados no Brasil consome anualmente um bilhão de kW. Ainda segundo este autor, no Brasil os equipamentos utilizados para britagem apresentam valores médios de eficiência energética variáveis entre 35% e 85%.

A recente crise energética, onde a escassez e aumento dos custos pela a energia mais cara afetou a competitividade dos produtos, forçou as empresas a buscarem meios de reduzir o consumo ou melhorar sua eficiência energética. No caso específico das pedreiras, Niklewski (2001), cita que, para produzir uma tonelada de agregado com tamanho inferior a 20mm, se gasta em torno de 2 a 3 kWh. Dessa energia, 70% é utilizada na britagem, ficando 20% para o transporte em correias e os 10% restantes para os equipamentos de classificação.

Nesse contexto, melhorar a eficiência energética do sistema de britagem, com incorporação do rejeito à produção, pode reduzir custos e agregar valor à produção.

Utilizando os resultados de eficiência obtidos pela equação 10, como proposto por Graedel e Allembly (1995), multiplicando-se os resultados pelo consumo médio de energia estabelecido por Niklewski (2001), pode ser calculado o desperdício de energia para o processo de britagem, que segundo este autor representa 35% dos custos totais de produção.

Quando se considera a eficiência do sistema (σ) sem o aproveitamento dos finos para a produção de areia industrial, o desperdício de energia seria a diferença entre a produção máxima eficiente (100%) e o valor da eficiência encontrado (62,95%), multiplicado pela taxa de consumo (t_c) de 2 ou 3 kWh. Para essa situação o desperdício (d) seria:

$$d = (100\% - \sigma)t_c = (100\% - 62,95\%)3,0\text{kWh} \quad (12)$$

$$d = (0,3705) \times 3,0\text{kWh} = 1,11 \text{ kWh/ton de rocha}$$

O valor encontrado para o desperdício de energia(d) por tonelada de rocha britada, quando não se aproveita o “pó-de-pedra” para produzir areia industrial, seria igual a 1,11 kWh equivalente a 37% de desperdício.

Calculando o desperdício do sistema, considerando o aproveitamento da areia industrial e somente o *filler* como resíduo, os valores ficam:

$$d = (100\% - \sigma)t_c = (100\% - 85,95\%)3,0\text{kWh} \quad (12)$$

$$d = (0,1405) \times 3,0\text{kWh} = 0,42 \text{ kWh/ton de rocha}$$

O valor encontrado para o desperdício de energia(d) por tonelada de rocha britada, quando se aproveita o “pó-de-pedra” para produzir areia industrial, seria igual a 0,42 kWh equivalente a 14 % de desperdício.

Embora os valores possam variar, para mais ou para menos, os números indicam uma melhoria da eficiência energética no sistema, quando se incorpora a produção de areia industrial à produção de brita. Caso se incorpore o *filler*, mesmo que parcialmente, a tendência é melhorar ainda mais a eficiência reduzindo o desperdício de energia.

3.4.3.3. As implicações da produção de areia industrial para o meio ambiente

As pedreiras, como parte do sistema industrial, operam produzindo benefícios e também desvantagens, que se traduzem em impactos ambientais. Como consequência, assim

como o sistema como um todo, a atividade é pressionada por políticas governamentais e regulamentos e, atualmente, pela moral social, economia e condições tecnológicas (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

No tocante à produção de areia, a questão ambiental é relevante porque, segundo o DNPM (2001), 90% da sua extração é realizada em depósitos naturais, como várzeas e leitos de rios gerando danos ambientais significativos, às vezes irreversíveis. São atividades que para atender à legislação ambiental, adotam soluções de controle no final do processo, o que caracteriza uma atitude empresarial predominantemente reativa (Lemos,2001).

Em Goiás, onde também 90% da produção é realizada através da dragagem de sedimentos nos leitos dos rios e córregos, as intervenções ambientais ocorrem principalmente nas matas – ciliares, que são os mais importantes sub-sistemas do ecossistema cerrado. Estas intervenções resultam em desmatamento das margens, geração de erosões das margens e redução da qualidade das águas pela incorporação de sólidos em suspensão, entre outros.

Na prática, o processo de dragagem tem provocado perdas significativas ao ecossistema do cerrado, principalmente à biodiversidade. Segundo Graedel e Allemby (1995), as perdas na biodiversidade e a poluição das águas estão entre os riscos ambientais atuais mais graves que afetam, não só a qualidade ambiental como a própria sobrevivência da humanidade. Como existem quase 500 atividades licenciadas para exploração em áreas de até 50 hectares nas margens de rios e córregos, o potencial de degradação das matas-ciliares no estado é bastante alto.

No caso das pedreiras, também são gerados impactos significativos. Silva (2000), descreve os impactos ao meio físico, biótico e antrópico pela exploração da Pedreira de Pirenópolis, citando: “ ...o efeito negativo da degradação visual é o mais expressivo. A exposição do manto rochoso da cava de exploração e dos bota-fora criou um cenário desértico, de aspecto árido, semelhante ao de um lixão, contracenando com a paisagem natural”.

Ainda com referência aos impactos gerados por pedreiras, Gonçalves et. al (2000), citam que não é rara a presença de pilhas, cada vez maiores, de finos resultantes da britagem, que em condições normais constitui material de difícil colocação, constituindo rejeito sem valor econômico. Entre os problemas ambientais destas pilhas está a ocupação de grandes áreas nas pedreiras, a possibilidade de poluir o ar e a água pelo carreamento do pó pelo vento e enxurradas. Além desses problemas, as pilhas constituem estoque de material que necessita de manejo, elevando os custos de produção não só com medidas de controle, mas também operacionais.

Para Gonçalves et al (2000), o aproveitamento dos finos para produzir areia industrial surge como possibilidade para a redução dos impactos ambientais que o sistema “produção de areia” gera e agregar valor à produção de brita, com benefícios para o meio ambiente, empresa e sociedade, que passa a contar com um insumo alternativo para produção de produtos utilizados pela construção civil.

A partir dos anos 80, segundo Lemos (2001), as indústrias entenderam a importância de investir na modificação dos seus processos de produção, dando ênfase à minimização da geração de resíduos e sua reutilização ou reciclagem.

Esta prática, segundo Lemos (2000) vai de encontro ao Programa de Produção Mais Limpa, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que possibilita às empresas fabricar o mesmo produto utilizando menos energia, menos água, menos matéria-prima e, gerando menos resíduos.

3.4.3.4. As implicações da produção de areia industrial para a qualidade das argamassas e concretos

Uma das questões que envolve o aproveitamento de um produto é o atendimento de uma necessidade do consumidor, ou ainda desempenhar uma função desejada. Para isso, o produto deve ter características que não comprometam o seu desempenho e custos de produção compatíveis que permitam sua utilização com economicidade.

A questão da qualidade para as areias é que define o seu uso e o desempenho de funções que vão do estrutural ao enchimento e pode ser avaliada a partir da presença de substâncias nocivas presentes (SILVA,2000).

No caso das areias naturais, as principais restrições à qualidade são a presença de matéria orgânica, argila em torrões, além da granulometria inconstante, que comprometem o seu desempenho principalmente nos concretos estruturais (Silva,2000). Estas características, regulamentadas pela NBR 7218 (ABNT,1987), podem ser controladas por processos de lavagem e peneiramento secundários, agregando custos à produção desse material e trazendo também problemas ambientais.

Para as areias industriais, as principais restrições são, segundo Silva (2000), o mau formato e angulosidade dos grãos, a presença de material pulverulento e de partículas de baixa densidade como as micas. De acordo com Gonçalves et al (2000), o controle das características desejáveis pode ser obtido inicialmente pela utilização de equipamentos de britagem do tipo VSI(britadores de impacto vertical), ou outro, que dêem ao grão um formato mais cúbico e

menos anguloso e em segundo lugar pela lavagem do material britado para eliminar o material pulverulento e de baixa densidade. Embora a princípio estes procedimentos incorporem custos à produção de pedra britada, trazem também benefícios, pela eliminação dos rejeitos da britagem, principalmente ao meio ambiente.

3.5 – Considerações

O estabelecimento de parâmetros que permitem comparar os efeitos ambientais e econômicos entre a produção de areia industrial e natural, bem como o cálculo das eficiências propostas por Graedel e Allembly (1995), estão entre os objetivos específicos propostos por este trabalho. Sob esse aspecto, ficou demonstrado que as eficiências do sistema de produção de brita podem ser melhoradas com a incorporação dos rejeitos, quando estes são aproveitados para produzir areia industrial.

Quanto aos custos, uma vez identificadas as atividades referentes à produção de areia natural, ou industrial, os mesmos podem ser levantados, permitindo comparar qual sistema apresenta menor custo de produção, considerando também os custos ambientais.

No que se refere às normas, estas estabelecem características de qualidade que definem os usos, desempenho e funções do agregado, impondo algumas restrições tanto para as areias naturais quanto artificiais, conforme estabelece SILVA (2000).

Sob esse aspecto Silva (2000), referencia que os agregados miúdos naturais podem apresentar alguns atributos positivos, como o melhor formato dos grãos, ou ainda, melhor distribuição granulométrica. Entretanto, isto não é absolutamente verdadeiro, pois na maioria dos casos não há controle de qualidade desse insumo e este pode apresentar substâncias indesejáveis ou nocivas aos concretos e argamassas, como matéria orgânica, argila em torrões ou até mesmo má distribuição granulométrica (SILVA, 2000).

Por sua vez, os agregados miúdos industriais podem apresentar algumas características indesejáveis como, grãos angulosos, má distribuição granulométrica ou apresentar substâncias nocivas como micas e material pulverulento (SILVA, 2000). Entretanto, segundo Gonçalves (2000), o controle das características desejáveis, para o agregado miúdo industrial, pode ser obtido através da utilização de equipamentos que dêem formatos mais adequados aos grãos e, a eliminação de substâncias nocivas como as micas e material pulverulento é possível.

Na escolha de produzir este ou aquele tipo de material, existem questões econômicas e não econômicas envolvidas. Além disso, a opção de produzir A ou B não pode recair somente sob o enfoque normativo, pois existem aspectos que envolvem a funcionalidade do

produto e os impactos que a produção desse bem gerará ao meio ambiente. Desse modo, a opção de produzir areia natural ou industrial pode ser calculada em aspectos como, as funções desse produto, o seu valor e se, a sua produção, uso e descarte é menos agressiva ao meio ambiente que a areia natural. Portanto, a opção de produzir areia natural ou industrial pode ter como base um modelo de apoio que contemple essas questões.

CAPÍTULO 4 – O MODELO PROPOSTO

4.1. Aspectos Gerais do Modelo

Num procedimento metodológico aplicado à seleção de materiais, processo, componente ou produto complexo, podem ser utilizados métodos qualitativos e quantitativos, não sendo possível estabelecer qual seja o mais eficiente.

Para Graedel e Allembly (1995), uma metodologia qualitativa sempre encontra rejeição por parte dos engenheiros ou dos planejadores de negócios. Entretanto, quando o estudo da informação envolve o meio ambiente, a quantificação dos impactos ambientais e sociais pode trazer erros devido a deficiência metodológica e natureza dos dados. O resultado de uma quantificação inadequada pode ser a desconsideração de aspectos importantes, o que compromete a metodologia de avaliação utilizada.

No estudo comparativo entre os produtos areia natural e industrial, ou mesmo dos métodos de produção, surgem questões econômicas e não econômicas, como as ambientais. Isso exige o desenvolvimento de um modelo abrangente, que contemple os aspectos qualitativos e quantitativos dos dados, para atender as duas abordagens.

Para uma avaliação qualitativa, a avaliação do ciclo de vida (ACV) pode ser desenvolvida, comparando os processos de produção entre areia industrial e natural, pois a ACV é uma metodologia que permite a avaliação qualitativa das responsabilidades ambientais associadas ao produto, processo ou atividade, identificando e quantificando as formas de energia, os materiais usados, os lançamentos ao meio ambiente, os impactos da atividade, o que permite implementar medidas de melhorias ambientais.

Por outro lado, numa avaliação quantitativa para estabelecer a escolha entre produzir areia industrial ou areia natural, a Análise de Valor pode ser uma ferramenta mais adequada, pois possibilita o estudo comparativo de produtos que desempenhem as mesmas funções, os custos envolvidos, entre eles o ambiental.

4.2. A Análise de Valor Aplicada à Produção de Areia

Na prática, a Análise de Valor (AV) baseia-se num processo que pode ser resumido em três ações, a descrição das funções, a avaliação das funções e desenvolvimento de alternativas.

Numa visão geral, a AV estrutura-se em seis fases que são, preparação, informação, análise, criatividade, desenvolvimento e implantação, conforme a figura 4.1.

FASES	FINALIDADE	PASSOS
1. FASE DE PREPARAÇÃO	Medidas preparatórias	1.1. Escolher o objeto 1.2. Determinar o objetivo 1.3. Compor o grupo de trabalho 1.4. Planejar as atividades
2. FASE DE INFORMAÇÃO	Conhecer a situação atual	2.1. Obter informações 2.2. Obter Custos 2.3. Descrever as funções
3. FASE DE ANÁLISE	Examinar a situação atual	3.1. Analisar as funções 3.2. Determinar funções críticas 3.3. Enunciar problemas
4. FASE DE CRIATIVIDADE	Obter idéias	4.1. Obter idéias 4.2. Agrupar idéias
5. FASE DE DESENVOLVIMENTO	Formular proposições	5.1. Formular e desenvolver alternativas 5.2. Viabilizar tecnicamente 5.3. Viabilizar economicamente 5.4. Decidir
6. FASE DE IMPLANTAÇÃO	Apresentar e implantar a solução proposta	6.1. Apresentar a proposta 6.2. Planejar a implantação 6.3. Implantar a alternativa 6.4. Acompanhar a implantação

Figura 4.1. – Quadro-Resumo das etapas da Análise de Valor.(PEREIRA FILHO, 1994).

Porém, como a aplicação do método no dia-a-dia pode ser complicada, uma maneira simplificada consiste em dar respostas para as seguintes questões:

1. O que é isso?
2. O que isso faz?
3. Quanto custa?
4. Qual o seu valor?
5. O que poderia fazer a mesma coisa?
6. Quanto custaria o substituto?

Entretanto, é conveniente realizar a análise de valor utilizando o plano de trabalho (PT) de Miles, adaptando-o conforme o objeto do estudo. No caso da produção de areia o PT utilizado poderia ser o original, modificado e simplificado pelas Sociedades Americana e Japonesa de Engenheiros de Valor que reduziram o PT de Milles a cinco fases, como visto em Abreu (1996) e conforme a seguir.

4.2.1. – Fase de Preparação

Esta fase tem início com a escolha do objeto da análise. No caso da areia industrial, como insumo para fabricação de concreto ou argamassas, a sua escolha como objeto da análise de valor pode ser justificada pelo que se segue:

- o futuro potencial desse produto e pela possibilidade de comparar o seu desempenho com o da areia natural;
- pelos custos das funções da areia, quando os custos com o meio ambiente são computados na produção desse insumo e são associados os impactos ambientais à produção da areia natural e industrial e;
- pela futura limitação na produção de areia natural em função da exaustão das reservas existentes mais próximas dos centros de consumo.

Um questionamento para validar a possibilidade de estudar um determinado produto é proposto por Miles, em seu livro *Techniques of value analysis and engineering*, conforme referencia Pereira Filho (1994) e, que pode ser adaptado ao problema em questão. Nesse teste de valor, onde se inclui o meio ambiente, os questionamentos feitos são:

- A areia contribui para fabricar algum produto?
- Podem ser eliminadas as funções da areia nos produtos nos quais é insumo?
- Os custos, inclusive os ambientais, são proporcionais à sua utilização?
- Existe um material equivalente a areia natural de menor custo?
- A areia é produzida por métodos apropriados ao meio ambiente?
- São rentáveis os processos de produção de areia natural?
- Existe alguém produzindo areia de outra forma?
- A produção de areia natural produz custos ambientais que podem ser eliminados ou reduzidos?

Como resposta a tais questionamentos tem-se:

- a areia é um produto natural, que pode ser obtido por processos de extração direta em depósitos específicos, ou através da redução da granulometria de fragmentos de rocha por britagem;
- é um insumo básico na indústria da construção civil, tanto para a produção de argamassa, quanto para a produção de concreto estrutural;
- sua utilização se dá através da sua adição a um aglomerante, que pode ser o cimento tipo *portland* ou mesmo a cal;
- é um produto que, considerando os padrões tecnológicos atuais, não tem um substituto que apresente o mesmo desempenho e custos;
- a areia pode ser produzida por processos diferentes com maior ou menor dano ambiental, conseqüentemente com menor custo global, conforme pode ser comprovado por experiências tanto laboratoriais quanto práticas.

4.2.2. Fase de Informação

Esta fase, caracterizada pelo conhecimento da situação atual, é iniciada com a obtenção de dados, por diversos especialistas das áreas que tenham envolvimento com o produto ou processo de produção do material a ser estudado.

Numa segunda etapa dessa fase, são obtidos os custos com a produção da areia natural ou industrial, incluindo os custos ambientais (externalidades), tendo por objetivo a obtenção do valor real. Os resultados dessa etapa devem estar vinculados ao estudo de tempos de produção, índices de perdas e aumento de eficiência. As memórias de cálculo obtidas devem ser armazenadas para permitir o estudo de viabilidade econômica da alternativa gerada, que no caso específico é a areia industrial.

A última etapa da fase dessa consiste na descrição correta das funções que o produto desempenha, identificando-as através das técnicas como a “Análise Randômica das Funções” (ARF), ou das técnicas de Análise Seqüencial de Funções, ou ainda pela diagramação FAST (Técnica de Análise Funcional de um Sistema). Ao final dessa etapa deverá se produzido um relatório com o resumo das atividades desenvolvidas.

4.2.3 – Fase de Análise

Representa o conceito básico da análise de valor, onde as funções estudadas são avaliadas, determinando-se a menor quantidade de dinheiro para se obter a função.

Nessa fase é desenvolvida uma análise criteriosa das informações, relacionando as funções com os custos para o seu desempenho. Consiste em quatro etapas onde são analisadas as funções, determinadas aquelas consideradas críticas e enunciados os problemas, o que pode ser resumido na identificação de idéias para o desempenho das funções requeridas pelo produto.

A análise das funções consiste no relacionamento das funções com seus custos, permitindo uma visão de onde se concentram os maiores gastos, entre eles o ambiental. A relação entre as funções e os custos pode ser feita por comparação, e no caso específico da areia através da comparação entre os custos na produção de 1,0 m³ de areia natural e industrial agregando os custos ambientais aos custos dos processos envolvidos.

Outra forma de análise, seria através da utilização de uma matriz função *versus* custo que permite a localização do custo por função, em valores e percentual relativo ao custo total. Complementando esta análise, pode ser realizada uma avaliação numérica funcional (ANF), onde as funções são hierarquizadas por ordem de importância para o cumprimento das exigências requeridas pelo usuário/cliente, utilizando o diagrama de Mudge, conforme referencia CSILAG (1995).

A avaliação numérica funcional, juntamente com a análise das funções *versus* custos possibilita a elaboração do gráfico Compare, que foi desenvolvido por Csilag (1995), que por sua vez permite a visualização das funções que apresentam custos proporcionais, ou não, ao seu grau de importância. Esta ação é o mesmo que determinar quais são as funções críticas do produto ou processo

Uma maneira prática e simples de análise é a obtenção do Índice de Valor (IV) que representa o cociente entre a importância da função (%GI) e o custo (%C) da função, cujos resultados podem ser interpretados conforme figura 4.2 .

IV > 1,1	Função com valor ótimo
0,9 < IV < 1,1	Função com valor adequado
IV < 0,9	Função com valor crítico

Figura 4.2 – Índice de Valor x Função. (PEREIRA FILHO, 1994).

Os índices de valor são obtidos a partir dos resultados da ANF e ACF, pela construção de um quadro como o exemplo da figura 4.3 a seguir.

A fase de análise é concluída com o enunciado de problemas ou geração de idéias para o desempenho das funções, que no caso da areia seriam as funções de uso previamente estabelecidas através do diagrama FAST, como a produção de argamassas ou a redução do custo do concreto, através do questionamento: Que outro material pode ser produzido para substituir a areia natural ?

CÓDIGO	FUNÇÃO	PONTOS	% GI(*)	% C	IV(**)
TOTAL					

Observações: (*)% GI = (pontos/total) x 100 (**)IV = (%G I) / (% C)

Figura 4.3 – Quadro para determinação do índice de valor (IV). (PEREIRA FILHO, 1994).

4.2.4 – Fase de Criatividade

Esta fase é constituída por duas etapas, onde são geradas as idéias associadas à resolução do problema, que serão posteriormente agrupadas utilizando a técnica FIRE.

A técnica FIRE recebe este nome devido as iniciais:

- F: função;
- I: investimento;
- R: resultado;
- E: exeqüibilidade.

Esta técnica consiste em submeter a idéia gerada as seguintes perguntas:

F: A idéia cumpre a(s) função(ões) requeridas? Sim, ou não, ou ainda parcialmente?

I: Qual o volume de investimentos necessários para se implantar a idéia? Alto investimento (A)? Médio investimento (M)? Baixo investimento(B)? Sem investimento(S)?

R: A idéia gerada cumpre o resultado esperado para o produto/projeto ou processo? Sim, ou não, ou ainda parcialmente?

E: A idéia é exeqüível técnica, política e ambientalmente para ser posta em prática? Sim, ou não?

A técnica FIRE, pode ser adotada para produção de areia industrial como produto alternativo, substituindo a expressão “idéia” por “areia industrial, produzida a partir do aproveitamento do rejeito de pedreiras” o que torna o conjunto de questões como a seguir:

F: A “areia industrial, produzida a partir do aproveitamento do rejeito de pedreiras” cumpre as mesmas funções da areia natural?

I: Qual o volume de investimentos necessários para produzir “areia industrial, a partir do aproveitamento do rejeito de pedreiras”.

R: A “areia industrial, produzida a partir do aproveitamento do rejeito de pedreiras” cumpre o resultado, ou seja, atende o mercado?

E: A produção de “areia industrial, a partir do aproveitamento do rejeito de pedreiras” é exequível técnica, política e ambientalmente?

Valor	F Funções	I Investimento	R Resultado	E Exequibilidade	FxIxRxExE
10	Exerce todas as funções necessárias	Nenhum	Economia/Simplificação acima do estimado.	Extremamente fácil de executar ou implantar	1.000
8	Exerce parcialmente todas as funções necessárias	Baixo	Conforme o estimado	Muito fácil de executar ou implantar	512
6	Exerce algumas das funções necessárias	Médio	Levemente abaixo do estimado	Razoavelmente fácil de executar ou implantar	216
3	Não se aplica	Alto	Razoavelmente abaixo do estimado	Muito difícil de executar ou implantar	27
1	Não se aplica	Muito Alto	Muito abaixo do estimado	Extremamente difícil de executar ou implantar	1
0	Não exerce todas as funções necessárias	Extremamente Alto	Não se aplica	Não se aplica	0

Figura 4.4 – Modelo de Diagrama FIRE. (CSILAG, 1995)

Um modelo de avaliação utilizando esta técnica pode ser visualizado na figura 4.4. Nesta figura são atribuídos pesos às questões levantadas, que variam de 10 até zero. Em seguida esses pesos são multiplicados entre si, optando-se ao final pela alternativa com maior número de pontos. Sob esse aspecto, Csilag (1995) pondera que ao considerar todos os critérios com o mesmo peso, a realidade pode ser distorcida.

No caso da areia industrial, quando comparada hipoteticamente a areia natural o resultado final do produto dos pesos poderia ser:

Funções – a areia industrial pode exercer todas as funções que a área natural, o que implicaria num valor de avaliação igual a 10 (dez);

Investimento – os investimentos necessários são baixos, o que implicaria num valor de avaliação igual a 8 (oito);

Resultado – tem-se a possibilidade de obter uma economia igual acima do estimado, portanto um valor de avaliação igual a no mínimo 8 (oito);

Exeqüibilidade – a implantação do processo numa unidade produtora de brita é fácil de implantar, técnica, financeira e ambientalmente, ou seja uma avaliação igual a 8 (oito).

O produto final, $FxIxRxE$, das avaliações seria igual a 5.120, demonstrando que a técnica FIRE pode ser plenamente adaptada ao problema.

4.2.5 – Fase de Desenvolvimento

É a continuação da fase anterior e, compõe-se de quatro etapas: a formulação e o desenvolvimento de alternativas, o estudo da viabilização técnica da alternativa proposta, o estudo da viabilização econômica da alternativa e a decisão de produzir ou utilizar a alternativa proposta.

Na etapa de formulação e desenvolvimento de alternativas as idéias são detalhadas, bem como as características do produto e do processo em estudo. No caso da areia industrial, devem ser especificados quais atributos de qualidade que o agregado deve apresentar, quais os equipamentos devem ser utilizados para se obter um agregado de qualidade e quais os efeitos ambientais da produção dessa alternativa.

Na etapa seguinte de viabilização técnica, são listadas as vantagens e desvantagens técnicas que a introdução do produto trará, suas vantagens e desvantagens ambientais quando comparado com os produtos atuais, levantando os possíveis riscos para o desempenho das funções requeridas. Nessa etapa, devem ser listados também as medidas que deverão ser tomadas para eliminar ou reduzir a ocorrência de desvantagens e reformuladas as alternativas com problemas.

A realização de testes com amostras constitui o trabalho complementar dessa etapa, levando em consideração a disponibilidade do produto no mercado, as restrições do processo produtivo, ou mesmo ambientais.

A viabilização econômica é a etapa seguinte e talvez mais importante dessa fase, e nela são levantados os custos da alternativa escolhida pela matriz FERI, os investimentos necessários, a amortização, o retorno sobre o investimento, a economia anual e a economia por unidade de produção.

Concluindo a fase, e de posse dos dados obtidos, são formuladas e apresentadas pelo menos duas alternativas, como no caso desse trabalho, e tomada a decisão de produzir esse ou aquele item.

Uma vez apresentados os custos, incluindo os ambientais, os aspectos técnicos e sendo a proposta considerada viável, esta deve ser planejada e implantada como alternativa ou mesmo substituta do produto em estudo.

4.3. A Estrutura do Modelo Proposto

O modelo proposto leva em consideração que, tanto a Metodologia de Análise do Valor (AV) como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) são processos abertos onde as conexões mentais formuladas podem ser integradas a qualquer tempo. Neste trabalho o modelo utilizado pode resumido pelo fluxograma representado pela figura 4.5.

Nesse fluxograma estão listadas as ações e decisões relacionadas com a Análise do Valor, que têm por objetivo a identificação e a avaliação das funções, através de diversas técnicas que podem ser aplicadas ao produto areia. Estão também relacionadas as atividades da ACV dos processos envolvidos na produção de areia industrial e natural, pois para Chehebe (1998), a ACV é uma técnica que permite a avaliação dos aspectos ambientais e dos

impactos potenciais para dar consistência a decisão de implantar ou não um determinado processo ou produto.

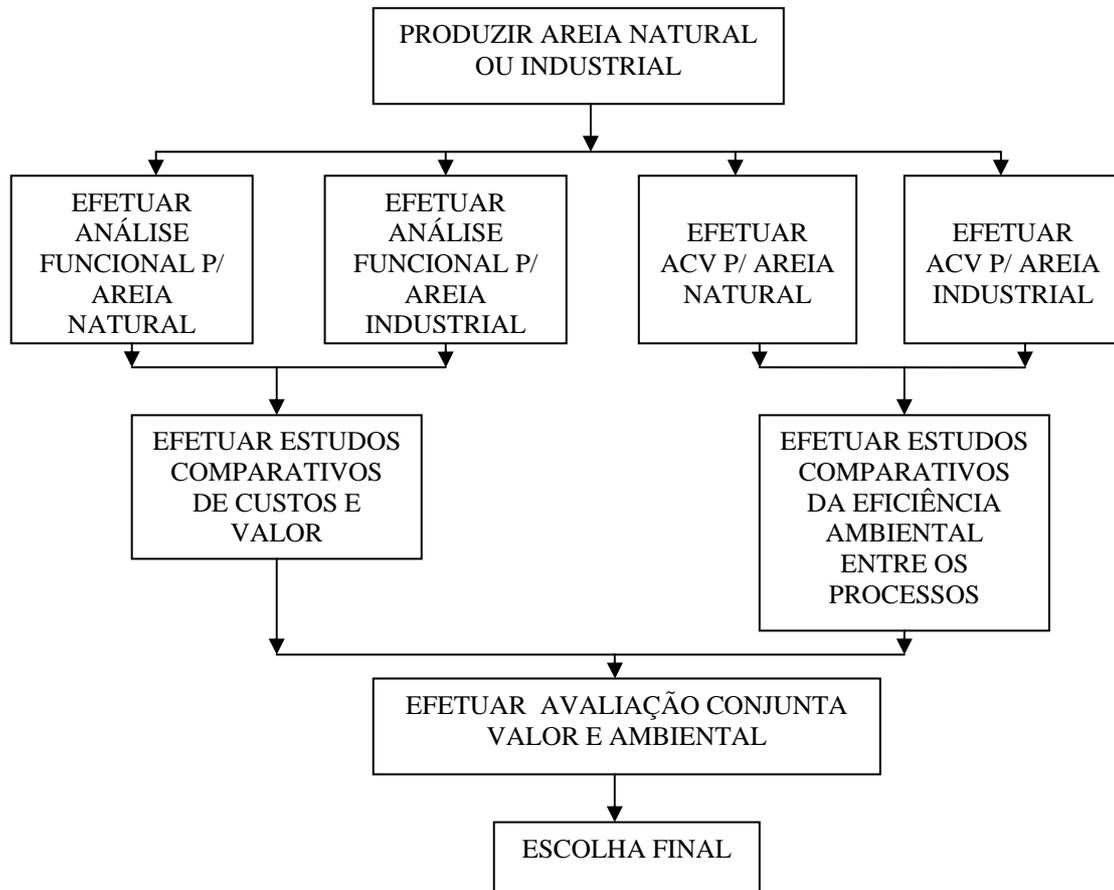


Figura 4.5 – Fluxograma das ações para dar suporte a decisão de produzir areia natural ou industrial.

4.3.1 - A Análise Funcional das Areias Natural e Industrial

A análise funcional é a análise das funções aplicadas, tanto para a areia natural quanto industrial, através da identificação e avaliação das funções desses produtos.

A identificação das funções, no modelo aqui aplicado pode ser feita, ou através da Análise Randômica das Funções (ARF), ou pelo uso do diagrama FAST (Técnica de Análise Funcional de um Sistema).

A aplicação das duas técnicas, que consistem na elaboração de uma lista de verbos e substantivos que possam representar algumas funções da areia, natural ou industrial, pode ser

justificada porque, tanto uma quanto a outra, procuram identificar a finalidade do produto ou a função básica.

Apresentam como vantagem a praticidade, porém requerem conhecimentos específicos sobre o objeto. Nesse aspecto a técnica FAST, que será utilizada no modelo, apresenta-se mais vantajosa em relação a ARF, pois nesta última existe a possibilidade de alguma função ser esquecida.

As funções no modelo proposto, podem ser avaliadas por comparação, dos Custos das Funções (CF), pela Avaliação Numérica Funcional (ANF), Análise do Índice de Valor das Funções (IV), Diagrama Vetorial de Valor e pelo método COMPARE. Pela sua objetividade a avaliação dos custos das funções (CF) será utilizada no modelo proposto, pois os custos da produção da areia natural ou industrial podem ser obtidos com relativa facilidade.

Como o mais importante na análise funcional é o resultado final, não há uma rigidez na escolha das técnicas que serão utilizadas.

4.3.1.1- A Análise Funcional da Areia Natural (AN)

O processo de AF da areia natural se inicia com a identificação das funções utilizando o diagrama FAST respondendo as questões básicas desta técnica: “como?” e “por quê?”. A resposta a estas questões determina o caminho crítico das funções, que é composto por aquelas funções que devem ser executadas para que se atinja a função básica ou de maior nível.

A identificação das funções envolvidas dependerá do uso que se dará ao agregado miúdo, que pode ser utilizado para produzir argamassa, tanto para assentamento quanto para reboco, ou ainda para produzir concreto.

Para produção de argamassa para assentamento as funções identificadas são:

- A – prover aparência;
- B – assentar revestimento;
- C – produzir argamassa;
- D – evitar fissuras;
- E – prover estanqueidade;
- F - prover resistência;
- G – permitir a trabalhabilidade;
- H – adicionar aglomerante.

Para produção de argamassa para reboco as funções identificadas são:

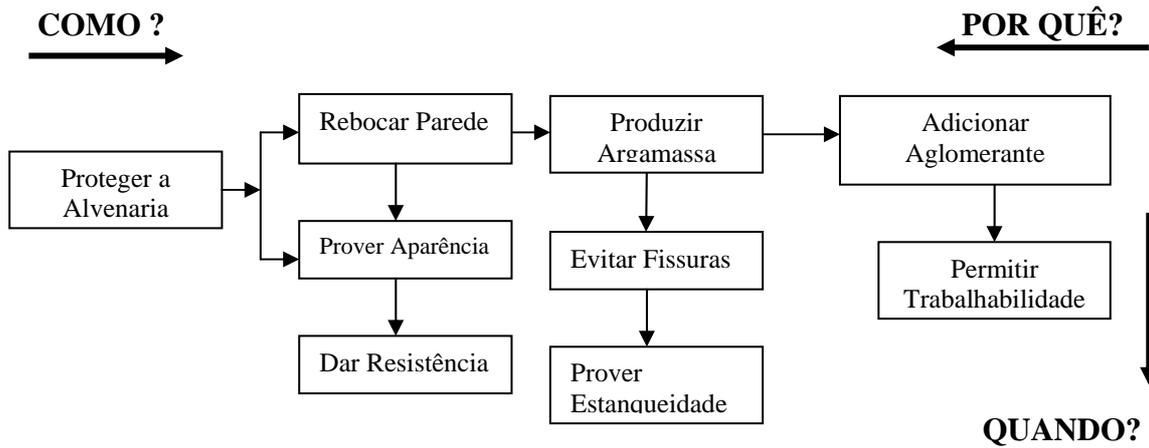


Figura 4.7 – Diagrama FAST das funções da areia natural para a produção de argamassa para reboco.

As funções identificadas da areia para a produção de concreto estrutural são:

- A – reduzir custos;
- B – diminuir retrações;
- C – preencher vazios;
- D – influenciar na resistência;
- E – melhorar a compacidade;
- F - dar plasticidade;
- G – permitir a trabalhabilidade;
- H – produzir concreto;
- I – influenciar na durabilidade.

Identificadas as funções, estas podem ser hierarquizadas através do diagrama FAST, conforme a figura 4.8.

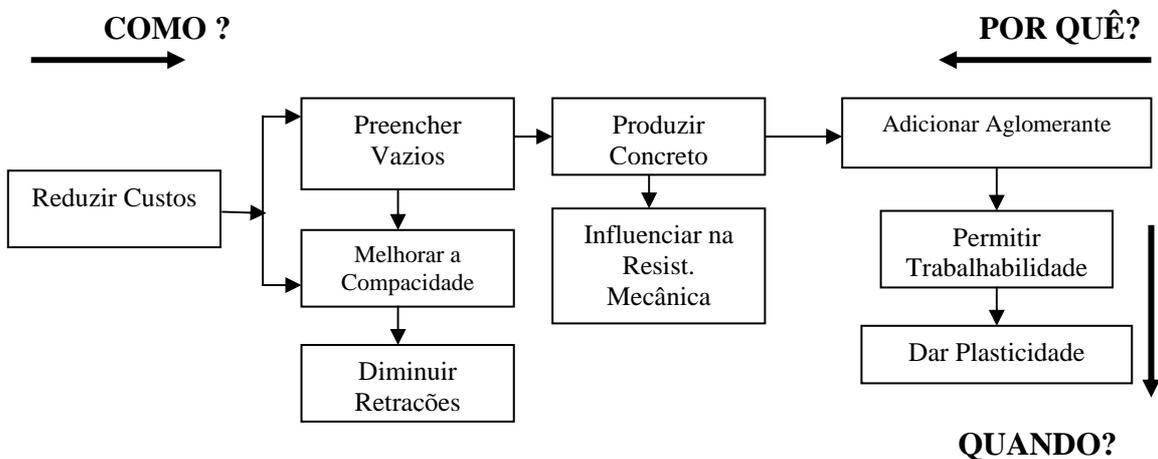


Figura 4.8 – Diagrama FAST das funções da areia natural para a produção de concreto.

Pela análise do diagrama conclui-se que a função básica da areia natural na produção de concreto é “reduzir custos” e não a função “produzir concreto”, que é uma função secundária que ajuda no desempenho da função básica identificada.

4.3.1.2- A Análise Funcional (AF) da Areia Industrial (AI)

O processo de AF da areia industrial se faz da mesma maneira que o utilizado para a areia natural: a identificação das funções utilizando o diagrama FAST respondendo as questões básicas desta técnica: “como?” e “Por quê?”.

Da mesma maneira, a identificação das funções envolvidas dependerá do usos que se dará ao agregado miúdo industrial, que pode ser utilizado também para produzir argamassa para assentamento ou reboco, ou concreto.

Para produção de argamassa para assentamento as funções identificadas do agregado industrial são as mesmas do agregado natural, pois como os produtos são supostamente substitutos, eles devem cumprir as mesmas funções, ou seja:

- A – prover aparência;
- B – assentar revestimento;
- C – produzir argamassa;
- D – evitar fissuras;
- E – prover estanqueidade;
- F - prover resistência;
- G – permitir a trabalhabilidade;
- H – adicionar aglomerante.

Da mesma maneira, para produção de argamassa para reboco as funções identificadas da areia industrial são:

- A – proteger alvenaria;
- B – rebocar parede;
- C – produzir argamassa;
- D – evitar fissuras;
- E – prover estanqueidade;
- F - prover resistência;
- G – prover aparência;
- H – adicionar aglomerante.

Para a produção de argamassa para assentamento, as funções identificadas para a areia podem ser hierarquizadas através do diagrama FAST como representado na figura 4.9.

Com a utilização do diagrama conclui-se que a função básica da areia industrial na argamassa para assentamento é prover aparência. Por quê? Porque quando o revestimento é assentado a parede ou área tem melhor aparência. Como assentar revestimento? Produzindo argamassa. Como produzir argamassa? Adicionando aglomerante. A questão QUANDO indica temporalidade e o quadro abaixo responde o quadro acima. Como exemplo: Quando “dar resistência”? Assentando revestimento.

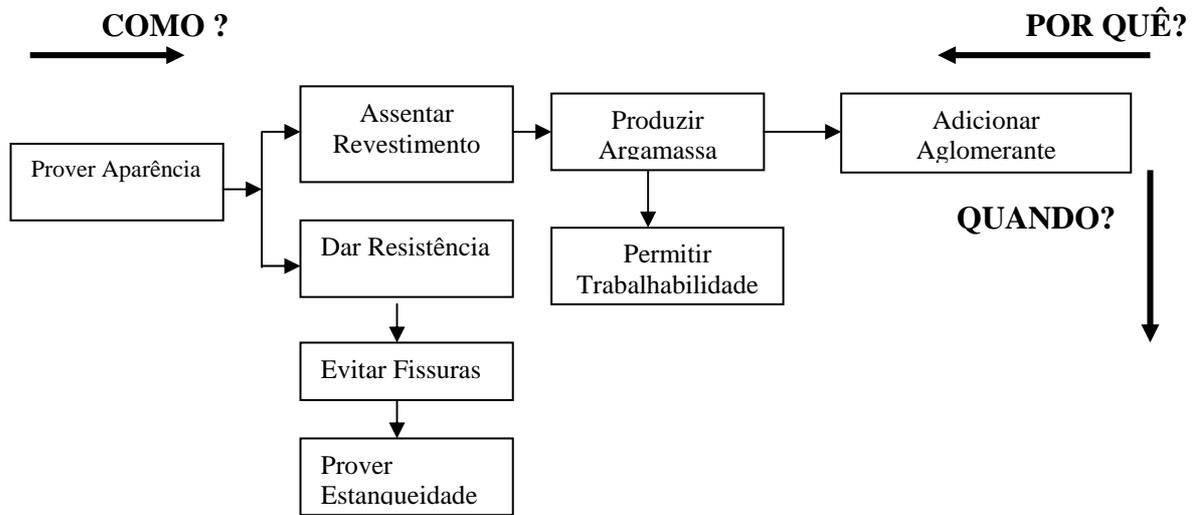


Figura 4.9 – Diagrama FAST das funções da areia industrial para a produção de argamassa para assentamento.

Repetindo o esquema, para a produção de argamassa para reboco, as funções podem ser hierarquizadas através do diagrama FAST como representado na figura 4.10 .

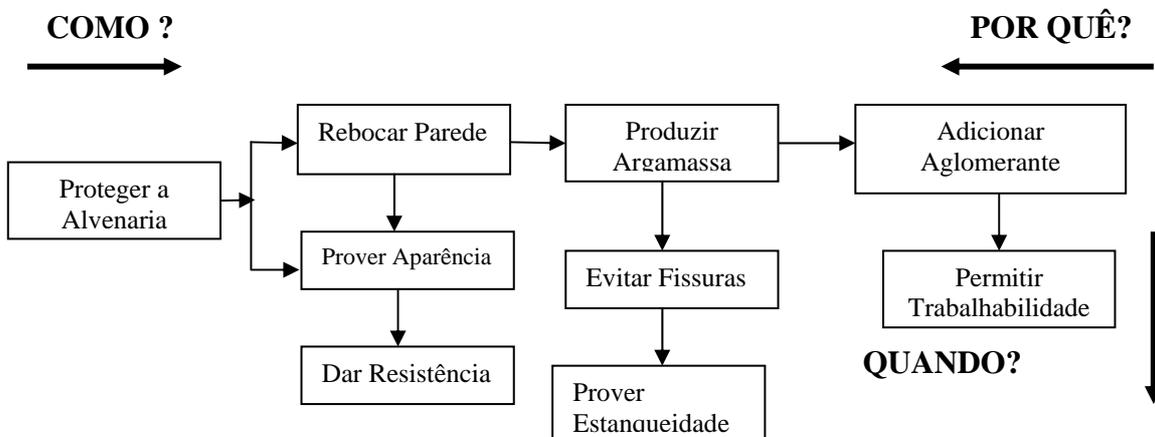


Figura 4.10 – Diagrama FAST das funções da areia industrial para a produção de argamassa para reboco.

Conclui-se pela utilização do diagrama, que a função básica da areia industrial na produção de argamassa para reboco é “proteger a alvenaria” e não a função “rebocar parede”, que é uma função secundária.

As funções identificadas da areia para a produção de concreto estrutural são:

- A – reduzir custos;
- B – diminuir retrações;
- C – preencher vazios;
- D – influenciar na resistência;
- E – melhorar a compacidade;
- F - dar plasticidade;
- G – permitir a trabalhabilidade;
- H – produzir concreto;
- I – adicionar aglomerante.

Identificadas as funções, estas podem ser hierarquizadas através do diagrama FAST, conforme a figura 4.11.

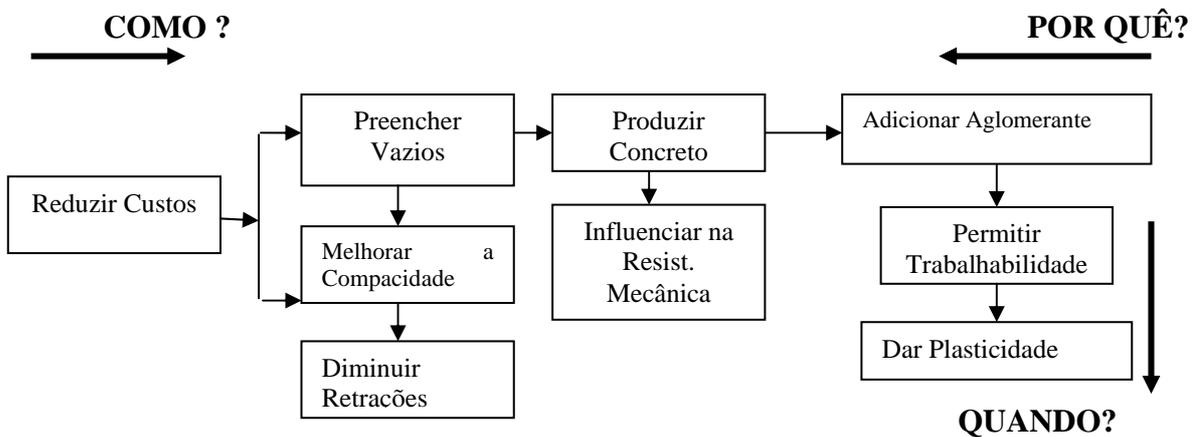


Figura 4.11 – Diagrama FAST das funções da areia industrial para a produção de concreto

Conclui-se pela utilização do diagrama, que a função básica da areia industrial na produção de concreto é “reduzir custos” e não a função “produzir concreto”, que é uma função secundária que ajuda no desempenho da função básica identificada.

4.3.1.3 – Os Atributos de Qualidade Exigidos do Agregado Miúdo e as Funções

Uma questão que emerge e tem caráter prático é a relação entre os atributos de qualidade dos agregados e os seus diversos usos para permitir o desempenho das funções básicas identificadas: prover aparência para as argamassas para assentamento e proteger a alvenaria para as argamassas para reboco, e reduzir custos na produção de concretos.

Entretanto, na utilização de agregados miúdos, sejam eles naturais ou industriais, algumas características como a forma do agregado (lamelar ou prismático), a sua textura (rugosa ou lisa), a distribuição granulométrica, a angulosidade (anguloso ou arredondado), a porcentagem de finos e as impurezas, são fatores determinantes para o desempenho das funções requeridas.

Isso exige a identificação das funções prioritárias, que por sua vez indicarão quais características de qualidade deverão ser melhoradas para o bom desempenho do produto. Uma ferramenta que pode ser utilizada para este fim é o Diagrama de Mudge (Csilag, 1995), onde as funções são comparadas, utilizando como critério o grau de importância relativo de uma função em relação a outra. As funções são comparadas aos pares e um número é atribuído a importância como a seguir:

- Peso 1 – grau de importância levemente maior da função em relação a outra em comparação;
- Peso 3 – grau de importância moderadamente maior da função em relação a outra em comparação;
- Peso 5 – grau de importância muito maior da função em relação a outra em comparação.

No caso do uso do diagrama de Mudge para argamassa para assentamento, onde as funções identificadas são:

- A – prover aparência;
- B – assentar revestimento;
- C – produzir argamassa;
- D – evitar fissuras;
- E – prover estanqueidade;
- F - prover resistência;
- G – permitir a trabalhabilidade;
- H – adicionar aglomerante;

O referido diagrama seria de acordo com a figura 4.12.

	B	C	D	E	F	G	H	TOTAL	%	GI
A	A3	A1	A5	A5	A1	A3	A3	18	27,0	10,0
	B	B1	B1	B3	F3	B5	B1	11	16,4	6,1
		C	C3	C3	F3	C3	C1	10	14,9	5,5
			D	E1	D1	G3	D1	2	3,0	1,1
				E	F3	E3	H1	4	6,0	2,2
					F	F3	F3	15	22,4	8,3
						G	H3	3	4,5	1,7
							H	4	6,0	2,2
							TOTAL	69	100	///////

Figura 4.12 – Diagrama de Mudge para as funções da argamassa para assentamento.

O diagrama da figura 4.12 é complementado com o quadro representado pela figura 4.13 onde são correlacionados as funções e o grau de importância dos atributos de qualidade do agregado para o desempenho das funções.

FUNÇÕES	GI	FORMA DO AGREG.	TEXT. DO GRÃO	CURVA DISTRIB. GRANUL.	ANGUL. DO GRÃO	% FINOS	% IMPUREZ.
A	10,0	10,0	10,0	30,0	10,0	30,0	50,0
B	6,1	30,5	6,1	18,3	5,5	18,3	30,5
C	5,5	5,5	5,5	16,5	16,5	27,5	27,5
D	1,1	5,5	3,3	5,5	3,3	5,5	5,5
E	2,2	2,2	2,2	11,0	2,2	6,6	11,0
F	8,3	8,3	8,3	24,9	8,3	24,9	41,5
G	1,7	8,5	5,1	5,1	8,5	8,5	1,7
H	2,2	2,2	11,0	6,6	6,6	11,0	11,0
TOTAL	614	72,7	51,5	117,9	60,9	132,3	178,7
% GIc	100	11,84	8,40	19,2	9,90	21,54	29,1

Figura 4.13 – Correlação entre o grau de importância (GI) da função e atributo de qualidade do agregado para produzir argamassa para assentamento.

O grau de importância (GI) é obtido do Diagrama de Mudge (figura 4.12) e a relação entre o atributo de qualidade da areia e a função, é estimada através da legenda a seguir, correlacionando um peso ao atributo, onde:

Peso 1 → relação fraca;

Peso 3 → relação moderada;

Peso 5 → relação forte.

A matriz representada pela figura 4.13, tem a finalidade de correlacionar as funções do agregado com os atributos de qualidade mais importantes para o desempenho da função. Nesta correlação é dado um peso, de acordo com a relação entre o desempenho da função e o atributo de qualidade, levando em conta o GI da função obtido pelo Diagrama de Mudge da figura 4.12.

Como exemplo, a função A, cujo GI é igual a 10, pode ser correlacionada com o atributo “forma do agregado”, multiplicando-se pelo peso da relação, no caso igual a 1 (fraca), obtendo-se o mesmo valor 10. Ainda considerando a mesma função, correlacionando-a agora ao atributo “% de finos”, verifica-se que o produto do GI pelo peso da relação é agora igual a 30 (3 x 10). A comparação entre os valores das células permite concluir qual atributo de qualidade é mais importante para o desempenho de uma determinada função.

Quando todos atributos são correlacionados às funções, os valores de cada correlação (atributo x GI) são somados, obtém-se a %GIC (Grau de Importância da correlação em porcentagem).

Tomando como exemplo, o somatório dos produtos “GI *versus* forma do agregado”, para as funções A, B, C, D, E, F, G e H, é igual a 72,7, que correspondem a 11,84% dos pontos obtidos na correlação global.

O mesmo procedimento é adotado para cada um dos atributos, obtendo-se um somatório para cada um deles, num total de 614 pontos. Este procedimento permite concluir qual ou quais atributos são mais importantes para o desempenho geral do agregado miúdo analisado, no caso em relação à produção de argamassa para assentamento.

Numa análise global da matriz representada pela figura 4.13, conclui-se que os atributos de qualidade que mais influenciarão no desempenho das funções, da areia utilizada para produzir argamassa para assentamento, são a porcentagem (%) de impurezas (178,7 pontos), porcentagem (%) de finos (132,3 pontos) e curva de distribuição granulométrica (117,9 pontos). Na última linha da matriz, estes valores são expressos em porcentagem, correspondendo respectivamente a 29,1%, 21,54% e 19,2% do GIC (Grau de Importância da correlação). Desse modo, são definidos quais atributos devem ser melhorados ou objeto de estudo para melhorias.

No caso do uso do diagrama de Mudge para produção de argamassa para reboco onde as funções identificadas são:

A – proteger alvenaria;

B – rebocar parede;

C – produzir argamassa;

D – evitar fissuras;

E – prover estanqueidade;

F - prover resistência;

G – prover aparência;

H – adicionar aglomerante.

O referido diagrama seria de acordo com a figura 4.14.

	B	C	D	E	F	G	H	TOTAL	%	GI
A	A3	A1	A5	A3	A1	A3	A3	19	32,2	10,0
	B	B1	B1	B3	B1	B3	B1	10	16,9	5,3
		C	D3	C3	C1	C1	C1	6	10,2	3,1
			D	D1	D1	G3	D1	6	10,2	3,1
				E	F3	G3	H1	1	1,7	1,0
					F	G3	F3	6	10,2	3,1
						G	G1	10	16,9	5,3
							H	1	1,7	1,0
							TOTAL	59	100	///////

Figura 4.14 – Diagrama de Mudge para as funções da argamassa para reboco.

Da mesma maneira que no caso anterior, o diagrama da figura 4.14 é complementado com o quadro representado pela figura 4.15, onde são correlacionados as funções com o grau de importância dos atributos de qualidade do agregado para o desempenho das funções.

O grau de importância (GI) é obtido do Diagrama de Mudge (figura 4.14) e a relação entre o atributo de qualidade da areia e a função, é estimada através da legenda correlacionada com um peso, onde:

Peso 1 → relação fraca;

Peso 3 → relação moderada;

Peso 5 → relação forte.

A sistemática é a mesma utilizada. O GI é multiplicado pelo peso do atributo de qualidade exigido do agregado para o desempenho da função e os valores obtidos mostrados no quadro figura 4.15.

Da mesma forma que para a matriz da figura 4.13, a análise global da matriz representada pela figura 4.15, permite concluir que os atributos de qualidade que mais influenciarão no desempenho das funções, da areia utilizada para produzir argamassa para reboco, são a porcentagem (%) de finos (133,2 pontos), porcentagem (%) de impurezas (128,7 pontos) e curva de distribuição granulométrica (101,9 pontos). Na última linha da matriz, estes valores são expressos em porcentagem, correspondendo respectivamente a 24,6%, 23,8% e 18,8% do GIc (Grau de Importância da correlação). Desse modo, são definidos quais atributos devem ser melhorados ou objeto de estudo para melhorias.

FUNÇÕES	GI	FORMA DO AGREG.	TEXTURA DO GRÃO	CURVA DISTRIB. GRANUL.	ANGUL. DO GRÃO	% FINOS	% IMPUREZ.
A	10,0	10,0	30,0	30,0	10,0	30,0	50,0
B	5,3	5,3	15,9	15,9	15,9	26,5	26,5
C	3,1	3,1	3,1	9,3	3,1	15,5	15,5
D	3,1	9,3	9,3	15,5	3,1	9,3	15,5
E	1,0	3,0	3,0	3,0	1,0	5,0	3,0
F	3,1	3,1	3,1	9,3	9,3	15,5	15,5
G	5,3	15,9	5,3	15,9	5,3	26,4	1,7
H	1,0	5,0	3,0	3,0	3,0	5,0	1,0
TOTAL	541,9	54,7	72,7	101,9	50,7	133,2	128,7
% GI	100	10,1	13,4	18,8	9,4	24,6	23,8

Figura 4.15 – Correlação entre o grau de importância (GI) da função e atributo de qualidade do agregado para produzir argamassa para reboco.

O diagrama de Mudge para a areia no concreto, seria de acordo com a figura 4.16. para as funções identificadas a seguir:

- A – reduzir custos;
- B – diminuir retrações;
- C – preencher vazios;
- D – influenciar na resistência;
- E – melhorar a compacidade;
- F - dar plasticidade;

G – permitir a trabalhabilidade;

H – produzir concreto;

I – adicionar aglomerante.

O diagrama da figura 4.16 é complementado com o quadro representado pela figura 4.17, onde são correlacionados as funções com o grau de importância dos atributos de qualidade do agregado para o desempenho das funções.

	B	C	D	E	F	G	H	I	TOTAL	%	GI
A	A5	A1	A5	A1	A3	A3	A1	A5	24,0	32,0	10
B		C3	B1	B1	B3	B1	H3	I3	6,0	8,0	2,5
C			C3	C1	C3	C3	C1	C1	15,0	20,0	6,3
D				E1	D3	D1	H1	D1	5,0	6,7	3,1
E					E3	E3	H1	E1	8,0	10,7	3,3
F						F3	H1	I1	3,0	4,0	1,2
G							H3	G1	1,0	1,3	1,0
H								H1	9,0	12,0	3,8
I									4,0	5,3	1,6
TOTAL									75	100	//////////

Figura 4.16 – Diagrama de Mudge para as funções da areia no concreto.

O grau de importância (GI) é obtido do Diagrama de Mudge (figura 4.16) e a relação entre o atributo de qualidade da areia e a função, é estimada através da legenda a seguir, correlacionada com um peso, onde:

Peso 1 → relação fraca;

Peso 3 → relação moderada;

Peso 5 → relação forte.

Utilizando o mesmo procedimento de análise adotado para as duas matrizes anteriores, figuras 4.13 e 4.15, a análise global da matriz representada pela figura 4.17, permite concluir que os atributos de qualidade que mais influenciarão no desempenho das funções, da areia utilizada para produzir argamassa para reboco, são a forma do agregado (136,4 pontos), a porcentagem (%) de finos (128,6 pontos), porcentagem (%) de impurezas (121,2 pontos) e curva de distribuição granulométrica (104,4 pontos). Na última linha da matriz, estes valores são expressos em porcentagem, correspondendo respectivamente a 23,4%, 22,1%, 20,8% e 17,9% do GIc (Grau de Importância da correlação). Desse modo, são definidos quais atributos devem ser melhorados ou objeto de estudo para melhorias.

FUNÇÕES	GI	FORMA DO AGREG.	TEXTURA DO GRÃO	CURVA DISTRIB. GRANUL.	ANGUL. DO GRÃO	% DE FINOS	% DE IMPUREZ.
A	10,0	50,0	10,0	30,0	10,0	30,0	50,0
B	2,5	7,5	2,5	12,5	2,5	12,5	7,5
C	6,3	31,5	6,3	18,9	6,3	31,5	18,9
D	3,1	9,3	3,1	9,3	3,1	3,3	15,5
E	3,3	16,5	9,9	16,5	9,9	16,5	3,3
F	1,2	3,6	3,6	1,2	6,0	6,0	1,2
G	1,0	5,0	3,0	3,0	5,0	5,0	1,0
H	3,8	11,4	3,8	11,4	3,8	19,0	19,0
I	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	4,8	4,8
TOTAL	58,2	136,4	43,8	104,4	48,2	128,6	121,2
% GI	10,0	23,4	7,5	17,9	8,3	22,1	20,8

Figura 4.17 – Correlação entre o grau de importância(GI) da função e atributo de qualidade.

Das análises das figuras 4.13, 4.15 e 4.17, verifica-se que os atributos de qualidade mais importantes para os agregados miúdos na produção de argamassa são, porcentagem de finos, porcentagem de impurezas e curva de distribuição granulométrica. Para os concretos, os atributos mais importantes são a forma do agregado, a porcentagem de finos, a porcentagem de impurezas e a curva de distribuição granulométrica. São nesses atributos que devem ser focadas as melhorias das características do agregado, bem como determinados os custos para comparar qual tipo de agregado apresenta melhor desempenho a um menor custo.

4.3.2. Estudo Comparativo dos Custos de Produção

Complementando a primeira parte do modelo, será apresentado a seguir um roteiro de apropriação de custos relacionados à produção de areia natural e industrial, que tem como resultado final a determinação do valor.

Os valores obtidos para cada um dos produtos, permitirão a determinação dos “índices de valor” (IV) que podem ser comparados, deduzindo-se daí qual dos produtos apresenta maior valor, considerando a equação:

$$\text{Valor} = \text{função/custo} \quad (4)$$

4.3.2.1. Os Custos de Produção da Areia Natural

Para calcular os custos envolvidos na produção de areia natural, será considerada a dragagem de leito de rio, por ser este o processo produtivo mais usual. Neste processo, podem ser identificados os seguintes subprocessos:

1. Dragagem por sucção;
2. Peneiramento e armazenamento;
3. Carregamento e transporte.

Os custos envolvidos na dragagem são:

- Mão-de-obra direta;
- Combustível e lubrificantes;
- Manutenção do equipamento;
- Depreciação do equipamento;
- Gastos com a redução das emissões atmosféricas e;
- Controle de efluentes.

Os custos envolvidos no peneiramento e armazenamento são:

- Mão-de-obra direta;
- Depreciação das peneiras;
- Controle de emissão de efluentes;
- Controles de erosão e;
- Custos com reflorestamento.

Os custos envolvidos no carregamento e transporte são:

- Mão-de-obra direta;
- Depreciação dos veículos (caminhões e pá-mecânica);
- Manutenção de equipamentos;
- Combustível e lubrificantes;
- Controle de emissão de efluentes;
- Custos com abertura de acessos;
- Controles de erosão e;
- Custos com reflorestamento.

O custo total desse método de produção é obtido pela soma dos custos das atividades envolvidas, utilizando o método ABC para apropriar os custos.

4.3.2.2 Os Custos de Produção da Areia Industrial

Para calcular os custos envolvidos na produção de areia industrial, será considerado como processo a classificação por peneiras a partir do material britado, que na prática é um subprocesso na produção de brita. Neste subprocesso podem ser identificadas as seguintes atividades:

1. Peneiramento e lavagem;
2. Carregamento e transporte.

Os custos envolvidos no peneiramento e lavagem são:

- Mão-de-obra indireta;
- Energia elétrica (peneira e sistema de bombas);
- Manutenção do equipamento;
- Depreciação das peneiras e bombas;
- Custos com a redução das emissões atmosféricas;
- Custos com a água de alimentação do sistema;
- Custos com o controle de efluentes (construção e manejo dos tanques de decantação) e;
- Custos com reflorestamento.

Os custos envolvidos no carregamento e transporte são:

- Mão-de-obra direta;
- Depreciação dos veículos (caminhões e pá-mecânica);
- Manutenção do equipamento;
- Combustível e lubrificantes;
- Controle de emissão de efluentes;
- Custos com abertura e manutenção dos acessos e;
- Custos com reflorestamento.

Da mesma maneira que a produção de areia natural, o custo total desse método de produção é obtido pela soma dos custos das atividades envolvidas, utilizando o método ABC para apropriar os custos.

Obtidos os custos, tanto de um processo quanto do outro, podem ser determinados os respectivos índices de valor que podem ser comparados.

4.3.3 - A Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada à Produção de Areia

Como a questão envolve aspectos ambientais nem sempre quantificáveis,

paralelamente o modelo contempla a avaliação do ciclo de vida (ACV) na produção de areia, natural ou industrial, com intuito de contribuir para a decisão de obter esse ou aquele insumo, avaliando os recursos, processos e tecnologias utilizados, ao longo de sua vida completa, desde a extração, beneficiamento, transporte e reciclagem, de tal modo que se busque aquele que possua impacto ambiental mínimo.

Na essência, utilizar a ACV como ferramenta de apoio à decisão, permite a avaliação econômica do meio ambiente, determinando as implicações tecnológicas do material, processo ou produto através do seu tempo de vida desde a sua produção até o lixo (CHEHEBE, 1998).

A metodologia inclui três estágios: a análise inventarial, a análise de impacto e a análise de melhorias, além da definição do escopo dessa análise como visto no item 2.7.2 do capítulo dois. A ACV é iniciada com a análise inventarial que fornece as entradas e saídas do sistema, no que se refere a insumos, matérias-primas, processo de produção, distribuição, usos, disposição, reuso e reciclagem.

Neste trabalho, serão utilizados os quadros-matriz, conforme proposto por Graedel e Allembly (1995), e visto no capítulo dois. Estes quadros-matriz permitem comparar processos de produção diferentes, para um mesmo produto, ou o seu substituto, nos diversos estágios do ciclo de vida do produto em avaliação.

A seguir, são apresentados os modelos hipotéticos de matrizes relacionadas ao estágio de vida “produção”, adaptados de Graedel e Allembly (1995).

4.3.3.1 - Um Exemplo de Matriz para o Processo Produtivo de Areia Natural

Um modelo hipotético de quadro-matriz para a avaliação da produção de areia natural é representado pela figura 4.18.

Nesta figura são considerados como estágios na produção de areia natural, a dragagem, a classificação e lavagem, o carregamento e transporte, o consumo, a disposição. Os impactos desses estágios do processo de produção são importantes, no consumo de energia, no consumo de recursos naturais, na disponibilidade futura dos recursos naturais, nos custos, implicações competitivas do produto obtido e uso do meio ambiente.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Dragagem	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Uso do Produto	Disposição Final
Utilização de Material Virgem	-3	0	-1	-3	0
Consumo de Energia	-1	-1	-3	0	0
Disp. Futura dos Recursos	-3	0	0	-3	0
Custos de Produção	+3	-1	-5	+1	0
Implicações Competitivas	0	-3	-5	+3	0
Uso do Meio Ambiente	-5	-3	-1	0	-3

Figura 4.18. Matriz de impacto do processo produtivo para areia natural – Estágio de Vida Produção. (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

4.3.3.2 - Um Exemplo de Matriz de Impacto Ambiental para Areia Natural

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação dos impactos ambientais da produção de areia natural é representado pela figura 4.19. Nesta figura são considerados como estágios de produção, a dragagem, classificação e lavagem, carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios para o meio ambiente considerando como elementos impactados, a biodiversidade (fauna e flora), as águas superficiais, os solos, a atmosfera, o consumo do capital natural e a geração de externalidades.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Dragagem	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Impactos a biodiversidade	-5	-3	0	0	-1
Impactos às águas superfic.	-5	-5	0	0	0
Impactos para os solos	0	-3	-3	0	-3
Impactos para atmosfera	-1	0	-3	0	0
Consumo de energia	-1	0	-1	0	0
Exaustão do capital natural	-3	0	0	-3	0
Geração de externalidades	-3	-3	-3	-3	-3

Figura 4.19. Matriz de impacto ambiental do processo produtivo para areia natural – Estágio de Vida = Produção.(GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

4.3.3.3 - Um Exemplo de Matriz de Impactos Políticos-Sociais para Areia Natural

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação dos impactos políticos-sociais da produção de areia natural é representado pela figura 4.20.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/ IMPACTOS	Dragagem	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Aspectos legais	-3	-3	0	0	-1
Desenv. sócio-econômico das comunidades	+1	0	0	+3	0
Impactos para o trabalho	+3	0	+3	+3	0
Impactos para indústria da construção	+3	+1	-3	+1	-3
Exaustão do capital natural	-3	0	-1	-1	-1
Geração de externalidades	-5	-3	-3	+3	-3

Figura 4.20.- Matriz de impacto político-social do processo produtivo para areia natural – Estágio de Vida = Produção. (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

Nesta figura são considerados os estágios de produção, como dragagem, classificação e lavagem, carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios frente aos aspectos legais, para o desenvolvimento sócio-econômico das comunidades envolvidas, para o trabalho, para a indústria e na geração de externalidades (custos) a serem assumidos pelas comunidades afetadas pela atividade.

4.3.3.4 - Um Exemplo de Matriz para o Processo Produtivo de Areia Industrial

Da mesma maneira que para areia natural, um modelo hipotético de quadro-matriz para a avaliação da produção de areia industrial é representado pela figura 4.21.

Nesta figura são considerados como estágios de produção, o peneiramento, a classificação e lavagem, o carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios na utilização de materiais virgens, no consumo de energia, no consumo e na disponibilidade futura dos recursos naturais, nos custos de produção, implicações competitivas do produto obtido e uso do meio ambiente.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Peneiramento	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Utilização de Material Virgem	+1	+1	+3	-1	0
Consumo de Energia	-1	-1	-1	+1	0
Disp. Futura dos Recursos	+3	+3	0	+3	0
Custos de Produção	+3	+3	+1	-1	0
Implicações Competitivas	+1	+1	+5	-1	0
Uso do Meio Ambiente	-1	-3	0	+1	-3

Figura 4.21. Matriz de impacto do processo produtivo para areia industrial – Estágio de Vida = Produção. (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

4.3.3.5 - Um Exemplo de Matriz de Impacto Ambiental para Areia Industrial

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação dos impactos ambientais da produção de areia industrial é representado pela figura 4.22. Nesta figura são considerados como estágios de produção, o peneiramento, a classificação e lavagem, o carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios no meio ambiente considerando como elementos impactados, a biodiversidade(fauna e flora), as águas superficiais, os solos, a atmosfera, o consumo do capital natural e a geração de externalidades.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Peneiramento	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Impactos a biodiversidade	-1	-3	0	-1	0
Impactos às águas superfic.	-1	-5	0	0	0
Impactos para os solos	-1	-3	-1	-1	-1
Impactos para atmosfera	-3	0	-1	0	0
Exaustão do capital natural	+1	-1	0	+3	0
Consumo de energia	+1	+1	+1	0	0
Geração de externalidades	-1	-1	-1	+3	-3

Figura 4.22. Matriz de impacto ambiental do processo produtivo para areia industrial – Estágio de Vida = Produção. (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

4.3.3.6 - Um Exemplo de Matriz de Impacto Político-Social para Areia Industrial

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação dos impactos políticos-sociais da produção de areia industrial é representado pela figura 4.23.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Peneiramento	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Aspectos legais	-1	-1	0	0	-1
Desenv. sócio-econômico das comunidades	+1	0	+1	+3	0
Impactos para o trabalho	0	0	+1	+3	0
Impactos para indústria da construção	+3	+5	+5	+5	0
Exaustão do capital natural	+1	+3	+1	+5	0
Geração de externalidades	-3	-3	-1	+1	-3

Figura 4.23 - Matriz de impacto político-social do processo produtivo para areia industrial Estágio de Vida = Produção. (GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

Nesta figura são considerados os estágios de produção, como peneiramento, classificação e lavagem, carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios frente aos aspectos legais, para o desenvolvimento sócio-econômico das comunidades envolvidas, para o trabalho, para a indústria e na geração de externalidades (custos) a serem assumidos pelas comunidades afetadas pela atividade.

Os valores definidos para cada item das matrizes, posteriormente podem ser somados nas matrizes individuais, divididos pelo número de células da matriz para a obtenção de uma média. Estas avaliações agrupadas são então transferidas para uma matriz-sumário, representada pela figura 4.24, que mostra um resumo dos resultados das avaliações para as alternativas, permitindo uma comparação e a escolha da opção mais apropriada. Este conceito de matriz de avaliação pode facilitar a seleção da opção de projeto mais desejável, e como exemplo de avaliação de opções, pode-se ter os processos de produção de areia natural (A) e areia industrial (B).

MATRIZ	OPÇÃO A	OPÇÃO B
Toxidez/Exposição	0	0
Meio Ambiente	-1,57	-0,54
Fabricação/Produção	-1,23	+0,56
Político-Social	-0,4	+0,83

Figura 4.24– Exemplo de quadro-matriz sumário. (GRAEDEL & ALLEMBY, 1995).

Embora metodologias quantitativas possam ser desenvolvidas, este tipo de avaliação pode ser útil pela facilidade de execução e visualização dos resultados. Isso torna relevantes as matrizes apresentadas, não somente para definir a responsabilidade ambiental de um único produto ou processo, mas também porque permitem a comparação de atributos entre dois processos ou produtos, a partir da execução das matrizes individuais para cada um.

No capítulo 5, a seguir, serão aplicadas as ferramentas propostas no modelo, na unidade de britagem da Pedreira Anhanguera, que fornece brita e areia industrial à REDIMIX.

CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DO MODELO

5.1 – Considerações Iniciais

Neste capítulo são apresentadas informações da empresa utilizada para a aplicação do modelo, no que diz respeito aos produtos e sistemas de produção, com ênfase à produção da areia industrial e sua utilização na fabricação do concreto usinado.

Esses dados são restritos a aspectos gerais da empresa, resguardado o sigilo de alguns custos específicos e aspectos administrativos. Portanto, o que é apresentado restringe-se ao sistema de produção, com destaque à redução dos custos gerais com a incorporação da areia industrial à produção de brita e sua utilização como insumo no concreto.

Algumas informações sobre o setor produtivo de areia no estado, também são apresentadas, a partir de dados do DNPM, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento e Secretaria da Indústria e Comércio do Estado de Goiás, com o objetivo de contextualizar a empresa no setor de produção de agregados e produtos derivados.

5.1.1 – O Setor Produtivo de Areia em Goiás e Distrito Federal

As reservas brasileiras medidas de areia são de 703.158.166 m³. Goiás e o Distrito Federal com respectivamente, 18.198.166 m³ e 6.127.126 m³, representam 2,58% e 0,87% deste total. Estes números colocam o estado no 6º lugar no *ranking* das reservas medidas quando se somam às reservas do DF.

O estado de Goiás e o Distrito Federal representam 4,47% da produção anual nacional de areia, que em valor monetário é equivalente a R\$ R\$ 34.869.958,00.

Significativa é a comparação entre a produção de areia com as de outros minerais industriais e verifica-se que esta é o 4º produto da produção mineral goiana, sendo superada somente pelo amianto, água mineral e o fosfato, tomando lugar do calcário.

Estes números relevantes refletem a busca crescente por depósitos desse produto, e se mostram também nas mais de 443 autorizações para exploração de areia registradas no VI Distrito do Departamento Nacional da Produção Mineral em Goiás.

Destacam-se sete municípios produtores em Goiás que contribuem com aproximadamente 80 % da produção do estado: Itumbiara, que detém 57,5% das reservas do

estado; Pires do Rio (5,6%); Cachoeira Dourada (3,0%); Piracanjuba (2,8%); Cristalina (2,1%) e Anhangüera (1,1%).

A produção nos municípios de Itumbiara, Cachoeira Dourada e São Simão é feita pelo sistema de dragagem Hoper, constituído por dragas autocarregáveis, o que permite a dragagem a grandes distâncias dos portos de areia, com melhor aproveitamento da jazida.

Os principais mananciais explorados no estado são, os Rios Paranaíba, Maranhão, Corumbá e secundariamente alguns importantes afluentes destes, como os Rios das Almas, Piracanjuba e dos Bois. Pequenos tributários são também explorados, gerando uma série de externalidades não contabilizadas nos custos de produção.

Quanto ao perfil dos produtores, mais de 98% deles são de pequeno porte e produzem entre 1500 m³ a 3.000 m³ /mês, não existindo entretanto um número preciso, pois grande parte atua na clandestinidade. Os dois maiores produtores no estado são a CIDA (Cia Itumbiriense de Dragagem de Areia) e a TARCAL (Transporte de Areia e Cascalho Ltda).

O estado, acompanhando uma tendência nacional tem apresentado um ligeiro crescimento no consumo de areia, que no Brasil passou de 1,2 t para 1,3 t/capita/ano. Mais de 60% deste consumo são feitos pelo consumidor “formiguinha”, composto de pessoas físicas que constroem com recursos próprios, e os 40% restantes por construtoras de médio e grande porte e concreteiras.

Uma tendência atual ditada pela necessidade do mercado, é a produção e o aumento do consumo de areia industrial a partir do pó-de-brita. Essa tendência, é decorrência da escassez das fontes de areia natural próximas com o conseqüente aumento das distâncias das fontes produtoras aos centros consumidores. Esse fato encarece o produto tornando-o economicamente inviável, pois o transporte é responsável por 2/3 do seu preço final.

Entretanto, apesar dessa forma de produção trazer vantagem competitiva, como a possibilidade de agregar valor às unidades produtoras de brita pelo aproveitamento do rejeito, a areia industrial ainda enfrenta resistências no mercado, principalmente em função de algumas características de qualidade inadequadas.

Apesar disso, seu consumo está em expansão pois, as questões com a qualidade estão sendo resolvidas com a utilização de equipamentos de britagem que dão ao produto características físicas mais adequadas.

Esse contexto, somadas às restrições ambientais às formas tradicionais de exploração por instrumentos legais cada vez mais rígidos, são mecanismos de impulso à tendência de aproveitar rejeitos de pedreiras para produzir areia industrial.

5.1.2 - A Pedreira Anhangüera e a Redimix

As duas empresas foram escolhidas porque trabalham de forma integrada e possuem o mesmo acionista majoritário. A Pedreira Anhangüera encontra-se entre as maiores produtoras de agregados graúdos do estado de Goiás, com capacidade instalada de 25.000 m³ / mês e produção mensal de 19.000 m³. Dessa produção 30% são destinados à Redimix, que fabrica concretos pré-misturados que são comercializados na região da Grande Goiânia.

Os dados aqui referenciados, dos sistemas de administração e produção da Pedreira Anhangüera e da Redimix, foram obtidos através de entrevista com o Sr. Wilson José Pinto, gerente das duas empresas. Nessa entrevista, buscou-se investigar alguns quesitos básicos para determinação dos custos de produção da areia industrial e seu peso no processo produtivo do agregado graúdo (brita) e concreto.

Da produção média mensal de agregados da Pedreira Anhangüera, a areia representa pouco mais de 26% da produção ou 5.000 m³. Desse volume 3.500 m³ são destinados à produção de concreto da Redimix e 1.500 m³ a comercialização para terceiros.

A Redimix consome da Pedreira Anhangüera, em média 0,6 a 0,7 m³ de areia industrial por metro cúbico de concreto que representam 5% do custo desse produto, que tem por sua vez um custo médio de R\$ 190,00 / m³. Esses 5% correspondem a R\$ 9,5/ m³ e segundo a empresa seria mais que o dobro se a empresa adquirisse a areia natural de terceiros.

O quadro 5.1 dá uma visão geral da empresa quanto aos seus aspectos administrativos e de produção, importantes para uma melhor compreensão de todo o processo da produção.

No que concerne ao pessoal administrativo e de gerência, o quadro de colaboradores no geral é de nível superior e médio e apresenta um alto grau de profissionalismo. Este pessoal utiliza práticas modernas de administração empresarial, o que pode ser comprovado pelos resultados operacionais, financeiros e econômicos atingidos no setor.

Embora a empresa não possua um setor específico de controle de qualidade estruturado, esse controle inicia-se com a escolha da rocha a ser lavrada nas instalações da pedreira, atuando posteriormente em todas as fases do processo produtivo. Na prática, o

controle do produto final é feito pelo consumidor que exige da areia industrial produzida características que atendam as normas brasileiras.

Indicadores	Pedreira Anhangüera
Número de Funcionários	94
Planejamento da Produção	planejamento e controle da produção baseado na flexibilização das demandas.
Controle de Qualidade	É efetuado por laboratórios terceirizados, como Furnas e Carlos Campos Engenharia, que realizam os ensaios necessários.
Manutenção	Cada unidade tem seu plano de manutenção. São feitas as manutenções Preventivas e Corretivas.
Capacidade Produtiva	25.000 m ³ /mês
Controle Ambiental (CA)	Realizado através de monitoramento e medidas corretivas de impactos.
Documentos gerados pelo CA	São gerados relatórios derivados dos monitoramentos, que são apresentados a Agência Ambiental de Goiás.
Obediência à Norma	NBR para agregados.

Figura 5.1 - Aspectos gerais da empresa pesquisada.

Atualmente a pedreira produz brita, areia industrial e *filler*, de forma a atender as especificações tanto do mercado de produção de concreto como também de outras argamassas, verificando as questões relativas as normas e também a satisfação e necessidades dos consumidores.

A empresa possui, no departamento industrial, uma gerência que engloba a qualidade, a segurança do trabalho e os profissionais de gestão ambiental.

Segundo padrões técnicos modernos de produção e qualidade, a empresa faz uso de tecnologias das mais avançadas, com o propósito de atender à crescente demanda e exigências

de mercado, tendo inclusive trocado os equipamentos de britagem secundários por um sistema que produz um agregado mais cúbico.

Com relação às questões ambientais, embora a empresa não busque certificação da ISO 14001 (Sistema de Gestão Ambiental), equipes terceirizadas fazem o trabalho de gerenciamento ambiental, buscando um melhor desempenho do processo produtivo quanto aos elementos causadores de impactos ambientais.

Como a questão com a água é crítica na produção da areia industrial, existe na pedreira um sistema de tratamento de efluentes, constituído por tanques de decantação, que é simples mais muito eficiente, que reduz as perdas e desperdícios de água. Esse sistema tem por função eliminar as partículas que poderiam causar assoreamento da rede de drenagem.

Com relação à saúde e segurança no trabalho, existe na empresa um sistema de gerenciamento interno de prevenção de acidentes de trabalho desenvolvido pela gerência, através do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), onde funcionários recebem treinamento sobre qualidade e riscos ambientais, visando a conscientização dos profissionais que aí trabalham para as questões de segurança e ambientais.

Com relação à idéia de produzir areia industrial, esta surgiu da integração entre os sistemas de administração da produção e processo produtivo, que identificou oportunidades de ganhos em áreas problemáticas do processo, surgindo daí a idéia de aproveitar rejeitos de brita para produzir areia industrial.

5.1.3 – O Processo Produtivo da Empresa

A figura 5.2 representa o fluxograma básico do processo produtivo da Pedreira Anhangüera, cuja descrição sucinta é a seguinte:

- Desmonte de Rocha - nesta etapa é feito o desmonte de rocha, utilizando explosivo tipo emulsão, bombeado diretamente nos furos;
- Carregamento e Transporte - nesta etapa a matéria-prima, após a detonação, é carregada e transportada para unidade de britagem primária;
- Britagem Primária - nesta etapa é reduzida a granulometria obtendo-se a pedra marroada;
- Britagem Secundária e Peneiramento - nesta etapa, através da britagem mecânica e peneiramento, ocorre a redução da granulometria com obtenção de brita 2 e 3;

- Britagem Terciária e Peneiramento - nesta etapa, através de nova britagem e peneiramento, obtém-se a brita 1 e 0, além do pó-de-pedra de onde se obtém a areia industrial;
- Lavagem e Separação Areia / *Filler* – é a etapa mais importante para o aproveitamento do material abaixo de 4,8mm, pois é nela que é obtida a areia industrial e material fino (*filler*), através da lavagem e peneiramento e,
- Carregamento / Transporte e Comercialização - nesta etapa o produto é carregado, transportado e levado ao mercado para comercialização.

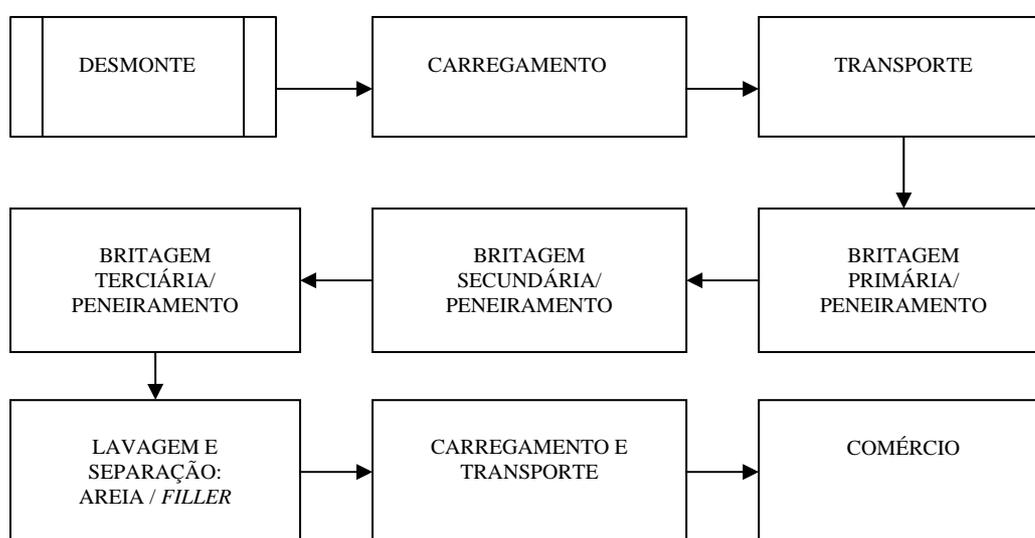


Figura 5.2 – Fluxograma simplificado do processo produtivo da Pedreira Anhangüera.

A empresa faz planejamento da produção de acordo com as demandas do mercado, com constante troca de informações entre os setores de vendas e produção. Além disso, nos períodos de redução das vendas, mantém a produção normal com estoques reguladores para atender o excesso de demanda em outros.

Durante o processo, existem estoques nas chamadas “pilhas-pulmão”, na saída dos britadores para suprir uma eventual parada, ou evitar gargalos. Desta forma mantém-se o planejamento da produção atualizado.

Para produzir determinados produtos, as informações chegam até a linha de produção através de um sistema de informação direta entre os setores de vendas e produção. Um

exemplo dessa prática na pedreira é a opção de produzir ou não produtos de baixo consumo, como a brita nº 2, que é transformada em brita nº 1 e nº 0.

Com relação aos produtos, como a empresa não possui um centro de pesquisa, são desenvolvidos projetos-piloto através de associações com centros acadêmicos como a Universidade de Campina Grande na Paraíba, que recentemente desenvolveu um projeto visando o aproveitamento do material fino dos resíduos da pedreira para produzir material cerâmico, com objetivo de melhorar a eficiência do sistema de produção.

5.2 – A Aplicação da Análise do Valor no Produto da Empresa

5.2.1 – A Análise Funcional da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera

Na aplicação da metodologia da Análise de Valor (AV) na Pedreira Anhangüera foram definidas as funções do produto areia industrial, somente para produção de concreto estrutural, porque a análise da areia produzida mostrou parâmetros de adequação a este uso.

Conforme definido no capítulo 4, estas funções foram identificadas e ordenadas por ordem de importância, e hierarquizadas de acordo com a figura 5.3 e são:

- A – reduzir custos;
- B – diminuir retrações;
- C – preencher vazios;
- D – influenciar na resistência;
- E – melhorar a compacidade;
- F - dar plasticidade;
- G – permitir a trabalhabilidade;
- H – produzir concreto;
- I – influenciar na durabilidade.

A análise do diagrama confirma que a função básica da areia industrial produzida pela Anhangüera, para a produção de concreto pela REDIMIX é “reduzir custos”, da mesma forma que a areia natural.

3- pontos - função significativamente mais importante;

5- pontos - função muito mais importante.

Como as funções identificadas para a areia industrial produzida para a produção de concreto estrutural são:

A – reduzir custos;

B – diminuir retrações;

C – preencher vazios;

D – influenciar na resistência;

E – melhorar a compacidade;

F - dar plasticidade;

G – permitir a trabalhabilidade;

H – produzir concreto;

I – influenciar na durabilidade.

Esse diagrama, é complementado com o quadro representado pela figura 5.5, onde são correlacionados as funções com o grau de importância dos atributos de qualidade da areia industrial para o desempenho das funções.

O grau de importância (GI) é obtido do Diagrama de Mudge, figura 5.4, e a relação entre o atributo de qualidade da areia industrial e a função é estimada como a seguir.

5.2.2 – Relação entre os Atributos de Qualidade e as Funções Exigidas

Como visto no capítulo 4, uma questão importante é a relação entre os atributos de qualidade da areia industrial e o seu uso para reduzir custos na produção de concretos. Entre esses atributos estão características como:

- a forma do agregado, se lamelar ou prismático;
- a sua textura, se rugosa ou lisa;
- a distribuição granulométrica;
- a angulosidade do grão, se anguloso ou arredondado;
- a porcentagem de finos e,

- as impurezas.

A relação, entre as funções prioritárias e os atributos de qualidade, indicará quais características de qualidade devem ser melhoradas para o bom desempenho do produto, foi efetuada multiplicando-se o grau de importância (GI), obtido pelo Diagrama de Mudge, por um peso como a seguir:

Peso 1 – grau de importância menor;

Peso 3 – grau de importância médio;

Peso 5 – grau de importância maior.

FUNÇÕES	GI	FORMA DO AGREG.	TEXTURA DO GRÃO	CURVA DE DIST. GRANUL.	ANGUL. DO GRÃO	% DE FINOS	% DE IMPUREZ.
A	10,0	50,0	10,0	30,0	10,0	30,0	50,0
B	2,5	7,5	2,5	12,5	2,5	12,5	7,5
C	6,3	31,5	6,3	18,9	6,3	31,5	18,9
D	3,1	9,3	3,1	9,3	3,1	3,3	15,5
E	3,3	16,5	9,9	16,5	9,9	16,5	3,3
F	1,2	3,6	3,6	1,2	6,0	6,0	1,2
G	1,0	5,0	3,0	3,0	5,0	5,0	1,0
H	3,8	11,4	3,8	11,4	3,8	19,0	19,0
I	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	4,8	4,8
TOTAL	582	136,4	43,8	104,4	48,2	128,6	121,2
% GI	100	23,4	7,5	17,9	8,3	22,1	20,8

Figura 5.5 – Correlação entre o grau de importância (GI) da função e atributo de qualidade.

A figura 5.5 mostrou que os quatro atributos de qualidade da areia industrial, produzida pela Pedreira Anhangüera, mais importantes para o desempenho da função “reduzir custos” na produção de concreto estrutural pela REDEMIX, são pela ordem:

- a forma do agregado;

- a porcentagem de finos;
- a porcentagem de impurezas e;
- a curva de distribuição granulométrica.

- A forma do agregado industrial - este atributo é o principal fator na redução do custo do concreto, pois irá influenciar na quantidade de aglomerante da pasta.

As formas arredondadas implicam em menor área específica e menor quantidade de pasta para envolver o agregado, com menor quantidade de aglomerante e menor quantidade de água, otimizando o fator água/cimento (AC) ($\text{Fator A/C} (X) = Q_{\text{água}}/Q_{\text{cimento}}$).

No caso da areia industrial em questão, a mesma apresenta grãos com formas cúbicas que permitem uma melhor compacidade, embora gastem um pouco mais de cimento água para manter o fator AC(X). Em contrapartida, estes agregados reduzem mais os índices de vazios que os de forma arredondada, melhorando a resistência mecânica dos concretos de alto desempenho estrutural.

Teoricamente a forma que exige menor quantidade de água irá prover menor retração no concreto. Sob esse aspecto, a pasta obtida pela REDEMIX tem controle tecnológico, apresenta o mesmo padrão, e o aumento teórico nos custos pela adição de mais aglomerante, na prática não se confirmou.

Como a forma do agregado industrial é função do tipo de rocha que lhe deu origem e também do processo de britagem, a rocha da pedreira, um granodiorito, produz naturalmente formas cúbicas. Este aspecto, associado à utilização de britadores ou rebritadores autógenos pode melhorar ainda mais a forma do agregado produzido.

- A porcentagem de finos - como esta função é decorrente principalmente da atividade de lavagem e peneiramento do agregado, e o excesso de finos é comprovadamente prejudicial ao concreto, a areia produzida pela Anhangüera apresenta 4,4% de materiais pulverulentos, que confere ao material características de qualidade próximas do ideal para o uso que se espera.

Entretanto, como a falta de finos interfere na quantidade de aglomerante da pasta, que exigirá maior volume de cimento encarecendo o concreto, o processo pode ser melhorado, com obtenção de um agregado com faixas granulométricas contínuas que exigirá menor uso de aglomerante, o que reduzirá ainda mais o custo do produto.

- A porcentagem de impurezas - esta característica é função da natureza da rocha que deu origem ao agregado. Tem sua relevância pois, uma grande quantidade de impurezas no agregado é deletéria para a resistência e durabilidade do concreto, além de contribuir para sua maior retração. No caso da areia industrial da pedreira, a rocha por ser predominantemente quartzo-feldspática não apresenta esse problema. Além disso, o processo de lavagem dos rejeitos é eficiente e os minerais micáceos produzidos estão dentro de padrões aceitáveis.
- A curva de distribuição granulométrica - tem sua relevância na redução do custo pois interfere diretamente na quantidade do uso do aglomerante. A curva de distribuição granulométrica também interfere diretamente nas funções diminuir retrações e preencher vazios, pois faixas granulométricas contínuas não só contribuem para o desempenho dessas funções, como também reduzem os custos de produção do concreto pela menor adição de aglomerante. A areia produzida apresenta faixas contínuas de areia muito fina a grossa, entretanto com ausência de grânulos muito grossos. A Análise do material mostrou módulo de finura (MF) igual a 2,8, ou zona 3, de acordo com a NBR 7211.

5.2.3 – Os Custos de Produção da Areia Industrial da Pedreira Anhangüera

Da mesma maneira que a produção de areia natural, o custo total desse método de produção pode ser obtido pela soma dos custos das atividades envolvidas, podendo ser utilizado o método ABC para apropriar os custos.

No cálculo dos custos de produção da areia industrial, serão considerados todos os processos envolvidos, desde o desmonte, a britagem e classificação como um todo, tendo como referência o percentual de 26%, que representa o quanto de areia é produzida a partir de um metro cúbico de rocha.

Um item a ser considerado é a maneira como a empresa apropria os custos ambientais e com a depreciação dos equipamentos. Estes custos estão calculados em 14% do custo total do material britado, o que envolve a brita, a areia e o *filler*.

No período de janeiro a dezembro de 2002, os custos com a depreciação corresponderam a R\$ 1,12/m³ e os custos ambientais em torno de R\$ 1,00/m³. Como a areia corresponde a 26% da produção os custos com depreciação e meio ambiente relativos à areia, são respectivamente R\$ 0,29/m³ e R\$ 0,26/m³.

Estes custos devem ser somados aos custos obtidos nos subprocessos envolvidos na produção de brita e areia. Entre os subprocessos podem ser identificados:

1. Desmonte ou subprocesso A;
2. Carregamento e transporte ou subprocesso B e,
3. Britagens primárias, secundárias, classificação e lavagem ou subprocesso C.

Os custos envolvidos no desmonte, serão denominados de Custos A e são:

- Mão-de-obra indireta e indireta;
- Diesel e lubrificantes para os compressores;
- Manutenção dos equipamentos (compressores e marteletes);
- Depreciação dos equipamentos;
- Custos com a redução das emissões atmosféricas;
- Custos com explosivos;
- Custos com controles ambientais.

Estes custos somados correspondem a R\$ 7,0/m³, como a areia industrial representa 26% desse montante o seu custo nesse subprocesso é R\$ 1,82/ m³.

Os custos envolvidos no carregamento e transporte, denominados de Custos B, são:

- Mão-de-obra direta e indireta;
- Depreciação dos veículos (caminhões e pá-mecânica);
- Manutenção dos veículos;
- Combustível e lubrificantes;
- Controle de emissão de efluentes;
- Custos com abertura e manutenção dos acessos e;
- Custos com reflorestamento.

Estes custos somados correspondem a R\$ 1,86/m³, como a areia industrial representa 26% desse montante o seu custo nesse subprocesso é R\$ 0,48/ m³.

Os custos envolvidos nos subprocessos britagem primária, secundária, classificação e lavagem, denominados aqui Custos C, são:

- Mão-de-obra direta e indireta;
- Energia elétrica (britadores, peneiras, correias e sistema de bombas);
- Manutenção dos equipamentos de britagem, carregamento, classificação e lavagem;
- Depreciação dos, britadores, correias transportadoras, peneiras e bombas;
- Custos com a redução das emissões atmosféricas;
- Custos com a água de alimentação do sistema;
- Custos com o controle de efluentes (construção e manejo dos tanques de decantação) e;
- Custos com reflorestamento.

Estes custos somados correspondem a R\$ 5,14/m³, como a areia industrial representa 26% desse montante o seu custo nesse subprocesso é R\$ 1,34/ m³.

A soma desses custos somente para a produção de areia, os Custos A, Custos B e Custos C, e considerando os custos com a depreciação como Custos D, e os custos ambientais como Custos E, fornece um valor de R\$ 4,19/m³. A figura 5.6 sintetiza essas informações.

CUSTO GLOBAL (M ³)	CUSTO A (M ³)	CUSTO B (M ³)	CUSTO C (M ³)	CUSTO D (M ³)	CUSTO E (M ³)
R\$ 4,19	R\$ 1,82	R\$ 0,48	R\$ 1,34	R\$ 0,29	R\$ 0,26

Figura 5.6 – Os custos dos subprocessos e global da produção de areia industrial.

Obtidos os custos, estes podem ser comparados com os custos de produção da areia natural, permitindo a obtenção dos respectivos índices de valor, que podem ser comparados.

A aplicação do modelo é completada com uma avaliação do ciclo de vida (ACV) do processo de produção de areia industrial, a partir da produção de brita na pedreira Anhangüera.

5.3. A Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada ao Processo da Pedreira Anhangüera

A avaliação do ciclo de vida aplicada ao processo da Pedreira Anhangüera, segue o modelo apresentado no capítulo 4. Nesse modelo, além de um balanço de massa e energia na análise inventarial, na avaliação dos impactos, são apresentadas matrizes de avaliação adaptadas ao processo de produção de areia industrial na pedreira Anhangüera.

5.3.1. Um Balanço de Massa e Energia do Processo da Pedreira Anhangüera

O balanço de massa, tem por objetivo definir as eficiências na extração e uso de energia no processo de produção de brita da Pedreira Anhangüera, quando se considera a obtenção de areia industrial ou não. Já o balanço energético, tem por objetivo definir a eficiência no uso da energia pelo sistema, também considerando a produção de areia industrial ou não.

Na Pedreira Anhangüera a produção de rejeito está dentro da média de 40% da produção. Considerando a produção média mensal de 20.000 metros cúbicos, este percentual corresponde a 8.000 metros cúbicos/mes.

Desse total, 65% são constituídos de areia e 35% de material com granulometria abaixo de 200 *mesh*, ou seja argila e silte. O não aproveitamento desse material, implicaria em pilhas de rejeito de volumes significativos, com aumentos significativos de custos financeiros e ambientais.

Com os parâmetros acima referenciados, as medidas de eficiência de extração e no uso de energia podem ser avaliadas para a pedreira utilizando a metodologia proposta por Graedel e Allembly (1995).

5.3.1.1. Cálculo das eficiências de extração do processo

Para calcular as eficiências, desconsiderando o aproveitamento da areia industrial, os valores obtidos seriam:

- a) Extração eficiente(t) – é função da tecnologia de extração, dos fluxos de resíduos de alta qualidade (rejeito com fração arenosa + material fino). Esse parâmetro pode ser calculado de acordo com a equação 7, considerando:

V = Material Virgem = rocha (1,0 tonelada)

M = Material Processado = rocha (1,0 tonelada)

P = Produto = brita (0,6 tonelada)

I = Material Impuro = pedrisco + “*filler*” (0,4 tonelada)

W = Lixo Produzido = *filler* (0,4 tonelada)

Se nenhum material virgem é usado e nenhum resíduo é produzido $t = 1$. Entretanto, quando se considera que o aproveitamento médio na pedreira é de 60% os valores encontrados para (t) ficam:

$$t = 1,0 / (1,0 + 0,4) = 0,714 \text{ ou } 71,4\%$$

- b) Fabricação Eficiente(μ) – é uma função do projeto, produto e processo, e suas implementações. Nesse caso o rejeito pode ser considerado como “lixo” ou resíduo. Para o caso do não aproveitamento do resíduo para produção de areia, utilizando a equação 8, os valores encontrados para (μ) são:

$$\mu = P / P + W_m \quad (8)$$

$$\mu = 0,6/0,6 + 0,4 = 0,6 \text{ ou } 60,0\%$$

Onde W_m = fluxo de massa do resíduo do processo de fabricação. Se nenhum resíduo é gerado no processo $\mu = 1$.

c) Recuperação eficiente (ρ) – é função do projeto do produto, política governamental, e mercado de materiais recicláveis.

$$\rho = S / S + W_c \quad (9)$$

Não é o caso, mas, se todo o material fosse reciclável ρ seria = 1.

d) Eficiência do Sistema (σ) –

$$\sigma = (t + \mu + \rho)/3 \quad (10)$$

Num sistema perfeito de ecologia industrial, no qual todos os materiais são fornecidos por reciclagem $\sigma = 1$. No caso das pedreiras o valor de (σ) seria:

$$\sigma = (71,4\% + 60,0\% + 0,0\%)/2 = 65,70\%$$

$$\sigma = 65,7\%$$

Calculando a eficiência do sistema considerando, o aproveitamento da areia industrial e somente o “filler” como resíduo, os valores são:

e) Extração eficiente(t) – é função da tecnologia de extração, dos fluxos de resíduos de alta – qualidade (solo com fração arenosa + fragmentos de rocha), e especificações negociadas com o fabricante. Considerando o aproveitamento da areia como subproduto:

V = Material Virgem = rocha (1,0 tonelada)

M = Material Processado = rocha (1,0 tonelada)

P = Produto = brita + areia (0,6 + 0,26 toneladas)

I = Material Impuro = “filler” (0,14 tonelada)

W = Lixo Produzido = filler (0,14 tonelada)

Se nenhum material virgem é usado e nenhum resíduo é produzido $t = 1$. Entretanto, quando se considera que no processo da pedreira, a produção da areia industrial, o

aproveitamento é de 86%, e os valores encontrados para (t) são:

$$t = 1,0/1,0 + 0,14 = 0,877 \text{ ou } 87,7\%$$

f) Fabricação Eficiente (μ) – é uma função do projeto, produto e processo, e suas implementações, nesse caso o rejeito pode ser considerado como “lixo” ou resíduo. Para o caso do não aproveitamento do resíduo para produção de areia os valores encontrados para (μ) são:

$$\mu = P / P + W_m$$

$$\mu = 0,88/0,88 + 0,14 = 0,86 \text{ ou } 86\%$$

Onde W_m = fluxo de massa do resíduo do processo de fabricação. Se nenhum resíduo é gerado no processo $\mu = 1$.

g) Recuperação eficiente (ρ) – é função do projeto do produto, política governamental, e mercado de materiais recicláveis.

$$\rho = S / S + W_c$$

Não é o caso, mas, se todo o material fosse reciclável ρ seria = 1.

h) Eficiência do Sistema(σ) – $\sigma = (t + \mu + \rho)/3$

Num sistema perfeito de ecologia industrial, no qual todos os materiais são fornecidos por reciclagem $\sigma = 1$. No caso das pedreiras o valor de (σ) seria:

$$\sigma = (87,7\% + 86,2\% + 0,0\%)/3 = 87,0\%$$

$$\sigma = 87,0\%$$

Embora os valores possam variar, para mais ou para menos, os números indicam uma melhora de eficiência no sistema, quando se incorpora a produção de areia industrial à produção de brita. Caso se incorpore o *filler*, mesmo que parcialmente, a tendência é melhorar ainda mais a eficiência do sistema.

5.3.1.2. Cálculo da eficiência no uso da energia

Outra maneira de tornar o sistema mais eficiente e reduzir custos, é otimizar o consumo e o uso da energia. No caso da Pedreira Anhangüera devem ser considerados nos cálculos de eficiência para beneficiar $1,0 \text{ m}^3$ de rocha, o consumo de energia elétrica igual a

3,25 kw/h/m³ . Além da energia elétrica há o consumo de diesel igual a 2,5 l/m³ que está relacionado somente ao desmonte.

No caso da energia elétrica, Niklewski (2001), cita que para produzir uma tonelada de agregado com tamanho inferior a 20mm se gasta dessa energia, 70% na britagem, 20% para o transporte em correias e os 10% restantes nos equipamentos de classificação.

Multiplicando-se o consumo médio de energia e os padrões de consumo de energia estabelecido por Niklewski (2001), pode ser calculado o desperdício de energia para o processo de britagem, e quanto esse desperdício representa dos custos totais de produção.

Quando se considera a eficiência do sistema (σ) sem o aproveitamento dos finos para a produção de areia industrial, o desperdício de energia seria a diferença entre a produção máxima eficiente (100%) e o valor da eficiência encontrado (62,95%), multiplicado pela taxa de consumo(tc) de 3,25 kWh/m³ . Para essa situação o desperdício(d) seria:

$$d = (100\% - \sigma)tc = (100\% - 60\%)3,25\text{kWh/m}^3$$

$$d = (0,4) \times 3,25\text{kWh} = 1,3 \text{ kWh/m}^3$$

O valor encontrado para o desperdício de energia(d), quando não se aproveita o “pó-de-pedra” para produzir areia industrial, seria igual a 1,3 kWh.

Calculando o desperdício do sistema, considerando o aproveitamento da areia industrial e somente o *filler* como resíduo, os valores ficam:

$$d = (100\% - \sigma)tc = (100\% - 86\%)3,3,25\text{kWh/m}^3$$

$$d = (0,14) \times 3,25\text{kWh} = 0,46 \text{ kWh/m}^3$$

$$d = 0,46 \text{ kWh/m}^3$$

Esta mesma sistemática pode ser aplicada para calcular a eficiência no uso do diesel utilizado nas operações de desmonte, carregamento e transporte

5.3.2 - A Utilização de Matrizes de Avaliação para o Processo da Pedreira Anhangüera

Uma completa aplicação do modelo para a Pedreira Anhangüera pode se feita pelas análises inventarial e de responsabilidade ambiental, utilizando as matrizes de avaliação propostas por Graedel e Allembly (1995), como a seguir.

5.3.2.1 – A Matriz de Avaliação para o Processo Produtivo da Pedreira Anhangüera

O preenchimento das matrizes, para o caso da pedreira seguiu a metodologia proposta no capítulo 4, onde se sugere para cada célula, registros numéricos como sintetizado na figura 4.18. Nesta figura, um “zero” na célula significa uma categoria não aplicável à opção sob consideração. O número 1 com sinal negativo (-) indica um efeito negativo insignificante, com sinal positivo(+) um efeito positivo insignificante; o número 3 com sinal negativo(-) significa um efeito negativo moderado, com sinal positivo(+) indica um efeito positivo moderado e; O número 5 com sinal negativo(-) representa um efeito negativo significativo, com sinal positivo(+) indica um efeito positivo significativo para a opção projetada ou o relativo grau de benefício.

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação da produção de areia industrial para a Pedreira Anhangüera é representado pela figura 5.7.

Nesta figura são considerados como estágios de produção, o peneiramento, a classificação e lavagem, o carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios na utilização de materiais virgens, no consumo de energia, no consumo e na disponibilidade futura dos recursos naturais, nos custos de produção, implicações competitivas do produto obtido e uso do meio ambiente.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Peneiramento	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Utilização de Material Virgem	+3	+1	+3	-1	0
Consumo de Energia	-1	-1	-1	+1	0
Disp. Futura dos Recursos	+3	+3	0	+3	0
Custos de Produção	+3	+3	+1	-1	0
Implicações Competitivas	+1	+1	+5	-1	0
Uso do Meio Ambiente	-1	-3	0	+1	-3

Figura 5.7. Matriz de impacto do processo produtivo para areia industrial – Estágio de Vida = Produção. (Adaptado de GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

5.3.2.2 - A Matriz de Impacto Ambiental para Pedreira Anhangüera

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação dos impactos ambientais da produção de areia industrial na Pedreira Anhangüera é representado pela figura 5.8. Nesta figura são

considerados como estágios de produção, o peneiramento, a classificação e lavagem, o carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e o impacto desses estágios no meio ambiente. Devem ser considerados como elementos impactados, a biodiversidade (fauna e flora), as águas superficiais, os solos, a atmosfera, o consumo do capital natural e a geração de externalidades.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/ IMPACTOS	Peneiramento	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Impactos a biodiversidade	-1	-3	0	-1	0
Impactos às águas superfic.	-1	-5	0	0	0
Impactos para os solos	-1	-3	-1	-1	-1
Impactos para atmosfera	-3	0	-1	0	0
Exaustão do capital natural	+1	-1	0	+3	0
Consumo de energia	+1	+1	+1	0	0
Geração de externalidades	-1	-1	-1	+3	-3

Figura 5.8. Matriz de impacto ambiental do processo produtivo para areia industrial – Estágio de Vida = Produção. (Adaptado de GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

5.3.2.3 - A Matriz de Impacto Político-Social para a Pedreira Anhangüera

Um modelo de quadro-matriz para a avaliação dos impactos políticos-sociais da produção de areia industrial para a pedreira em estudo é representado pela figura 5.9.

Nesta figura são considerados os estágios da produção (peneiramento, classificação e lavagem), carregamento e transporte, o consumo, a disposição, e os impactos desses estágios no aspecto legal, para o desenvolvimento sócio-econômico das comunidades envolvidas, para o trabalho, para a indústria e na geração de externalidades (custos) a serem assumidos pelas comunidades afetadas pela atividade.

Os valores definidos para cada item das matrizes, posteriormente podem ser somados nas matrizes individuais, divididos pelo número de células da matriz para a obtenção de uma média. Estas avaliações agrupadas são então transferidas para uma matriz, representada pela figura 5.10, que mostra um sumário hipotético dos resultados das avaliações entre a areia industrial obtida na pedreira e a areia natural obtida por dragagem ou outra alternativa, permitindo uma comparação e a escolha da opção mais apropriada. Este conceito de matriz de

avaliação é adaptável ao caso estudado.

ESTÁGIO DE PRODUÇÃO/IMPACTOS	Peneiramento	Classificação e Lavagem	Carregamento e Transporte	Consumo do Produto	Disposição Final
Aspectos legais	-1	-1	0	0	-1
Desenv. sócio-econômico das comunidades	+1	0	+1	+3	0
Impactos para o trabalho	0	0	+1	+3	0
Impactos para indústria da construção	+3	+5	+5	+5	0
Exaustão do capital natural	+1	+3	+1	+5	0
Geração de externalidades	-3	-3	-1	+1	-3

Figura 5.9.- Matriz de impacto político-social do processo produtivo para areia industrial Estágio de Vida = Produção. (Adaptado de GRAEDEL E ALLEMBY, 1995).

MATRIZ	OPÇÃO A	OPÇÃO B
Toxidez/Exposição	0	0
Meio Ambiente	-1,57	-0,54
Fabricação/Produção	-1,23	+0,56
Político-Social	-0,4	+0,83

Figura 5.10– Exemplo de quadro-matriz sumário.(Adaptado de GRAEDEL & ALLEMBY (1995)).

Com pode ser visto o modelo é aplicável e esse tipo de avaliação pode ser útil pela facilidade de execução e visualização dos resultados. As matrizes apresentadas, são auto-explicativas, não somente porque definem a responsabilidade ambiental de um único produto ou processo, mas também porque permitem a comparação de atributos entre dois processos ou produtos, a partir da execução das matrizes individuais para cada um.

5.4 - Pontos Fortes e Limites do Modelo

As duas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do modelo, apresentam alguns aspectos convergentes e até complementares, como pode ser visto na figura 5.11.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	ANÁLISE DE VALOR (AV)
Permite estudar produtos e processos que causem impactos ambientais	Permite a escolha de um produto que apresente maior valor ou menor custo por função
Tem caráter multidisciplinar, pois envolve especialistas de várias áreas	Tem caráter multidisciplinar, pois envolve especialistas de várias áreas
Tem por objetivo o desenvolvimento de alternativas de menor impacto ambiental	Permite propor alternativas que desempenhem as mesmas funções a um menor custo
Guia para melhorias potenciais	Tem como objetivo caracterizar atividades ou produtos que não agreguem valor
Permite medir as entradas de recursos e energia e o processo resultante	Pode contribuir para a redução dos desperdícios e dos impactos ambientais
Apresenta limitações para o uso no dia-a-dia, por exigir um grau de detalhamento maior para uma avaliação correta	Apresenta um roteiro de trabalho que deve ser obedecido para ser eficaz

Figura 5.11 – Quadro comparativo entre a ACV e AV.

Apesar dos aspectos convergentes e complementares das duas ferramentas, o modelo apresenta aspectos positivos e negativos, em função dos limites dessas ferramentas.

5.4.1 - Pontos Fortes do Modelo

O modelo apresentado tem como ponto forte a integração de duas ferramentas que apresentam aspectos econômicos e não econômicos, que são a análise de valor (AV) e avaliação do ciclo de vida (ACV).

Para Chehebe (1998), a ACV é uma ferramenta que pode ser utilizada para uma grande variedade de propósitos, onde as informações coletadas e os resultados de suas análises e interpretações podem ser úteis para tomada de decisão.

Segundo esse autor, a ACV pode ser utilizada também na seleção de indicadores ambientais relevantes para a avaliação de performance de projetos de produtos ou processos, ou ainda, para o planejamento estratégico.

Chehebe (1998), advoga a utilização da ACV na escolha de projetos, processos ou produtos, porque considera que esta ferramenta encoraja as indústrias a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas aos sistemas de produção, no que se refere a insumos, matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso e reciclagem.

Este ponto de vista é semelhante ao de Graedel e Allembly (1995), quando propõem a

utilização do conceito de ecologia industrial e consideram também a ACV como uma ferramenta que auxilia na identificação de prioridades e oportunidades de melhorias nos aspectos ambientais envolvidos na produção de um produto.

Em relação a análise do valor (AV), sua utilização como ferramenta no modelo se justifica, porque segundo Pereira Filho (1994), é um método que conduz a um processo de mudança na produtividade, melhoria de qualidade, redução dos custos e desperdícios de recursos e/ou insumos.

Autores como Csilag (1995), Pereira Filho (1994) e Ribeiro (1996), compartilham a opinião de que, a AV pode ser utilizada como ferramenta de comparação entre dois produtos que desempenhem a mesma função, decidindo-se por aquele de menor custo, ou que tenha menor impacto ambiental na sua produção.

Outro aspecto da AV é permitir a identificação de produtos que desempenhem as mesmas funções, considerando a escassez de matérias-primas, racionalização no uso de energia e também as externalidades geradas na produção de um produto.

Como aspecto positivo, as duas ferramentas para serem aplicadas exigem uma sistematização. No caso da AV, existe o Plano de Trabalho com suas fases, como proposto por autores como Csilag (1995) entre outros. Para a ACV são definidas quatro fases, como referencia Chehebe (1998), onde são definidos os limites do estudo, e os níveis, tipos de energia e materiais que entram no sistema industrial.

Dentro de um enfoque sistêmico, as duas ferramentas permitem a integração entre a performance ambiental dos produtos com os conceitos de qualidade e valor agregado para o consumidor.

5.4.2. Limites do Modelo

A utilização das duas ferramentas como suporte ao modelo, tem como pontos negativos a manipulação inadequada ou incorreta dos dados, o que pode levar a falsas conclusões.

As ponderações de Chehebe (1998) quanto aos limites da ACV são pertinentes, pois podem ocorrer exageros, estudos tendenciosos, tratamento incorreto das informações, não se levar em conta a evolução tecnológica e a idade dos dados, além de possíveis manipulações.

Com relação à manipulação dos dados, a aplicação das normas ISO 14 040 e 14 041, pode garantir a transparência e os aspectos éticos na utilização da ferramenta.

Outros fatores limitantes para a utilização da ACV são a complexidade e o grau de detalhe exigidos para uma avaliação correta, o que limita o uso da ferramenta no dia-a-dia.

Além disso, outro aspecto, que pode ser considerado negativo é a multidisciplinaridade da ferramenta, que torna o seu uso complexo.

Com relação à análise de valor, uma questão relevante é o levantamento correto dos custos de um determinado produto ou processo, principalmente quando entre estes custos estão as externalidades.

Sob esse aspecto, assim como na ACV, na utilização da AV também podem ocorrer exageros, estudos tendenciosos, tratamento incorreto de informações e possíveis manipulações. E, ao contrário da ACV não existem normas ou regulamentos na utilização da ferramenta.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 – Conclusões

Com relação a questão principal, e que motivou esta pesquisa, a realização do trabalho permitiu demonstrar que a proposta de produzir areia industrial como alternativa à areia natural, não só é economicamente interessante como também pode reduzir os impactos ambientais, além de agregar valor à produção de brita e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

As questões que emergem dessa proposta: se este produto executa as mesmas funções que a areia natural; se a sua produção é viável técnica e economicamente, e se este produto atende os requisitos de qualidade exigidos pelas normas técnicas, têm respostas respaldadas pelas duas ferramentas utilizadas no modelo desenvolvido no capítulo quatro deste trabalho, que tem como bases- Análise do Valor e Avaliação do Ciclo de Vida.

A utilização da metodologia da Análise do Valor, permitiu demonstrar que a areia industrial cumpre as mesmas funções que a areia natural, com custos compatíveis e redução de desperdícios. Portanto a metodologia serve, não só como suporte a decisão de produzir areia industrial, como também provar a viabilidade econômica da utilização desse material.

O suposto alto custo de produção da areia industrial, como definiram Caçavana (2000), e Neves (2000), e que o aproveitamento da areia industrial só não é maior porque esta apresenta custo de produção até três vezes superior à produção de brita, não se confirma na prática, sendo contrariado pelo exemplo da Pedreira Anhangüera, que produz a areia derivada do seu rejeito a um custo menor que o produto similar.

Aspectos da produção da pedreira, como eficiência no uso de energia e da extração, foram calculados, aplicando a proposta de Graedel e Allembly (1995), modificada, que a utiliza na Análise Inventarial da Avaliação do Ciclo de Vida. Os balanços calculados demonstraram a aplicabilidade dessa ferramenta, também como suporte à decisão de produzir areia industrial.

Também nos processos de Análise Inventarial e Análise das Responsabilidades Ambientais, a utilização de matrizes de avaliação se mostrou adequada ao problema proposto. A aplicação das matrizes no capítulo cinco, sugere que estas podem ser utilizadas como ferramenta de apoio à decisão, também quando produtos são comparados.

Entre os objetivos gerais estão também o estabelecimento de parâmetros para avaliação ambiental entre os processos produtivos e custos, o que está contemplado no capítulo quatro, no estudo comparativo de custos e nas matrizes das figuras 4.18 a 2.24.

Com relação à abrangência do modelo proposto, para produção de areia, tem aplicações restritas, pois a alternativa de produzir de areia industrial, está condicionada à inexistência ou a perspectiva de exaustão das fontes de areia natural, à existência de pedreiras próximas dos centros consumidores e as características da rocha britada. Entretanto, para outros produtos, e seus respectivos processos, é possível a sua aplicação.

Quanto aos parâmetros tecnológicos, o estudo comparativo entre os dois produtos em relação às normas NBR, que tratam da questão do uso dos agregados realizados no capítulo três, sugerem uma adequação da areia industrial para a construção civil.

Os exemplos da Redimix, que utiliza a areia industrial da Pedreira Anhangüera na produção de concreto usinado, assim como o da Unidade Itapevi da Embu S.A. Engenharia e Comércio de São Paulo (Gonçales et al, 2000), sugerem a adequação desse material às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e indicam que a substituição da areia natural por areia industrial derivada do rejeito de brita, é tecnologicamente viável.

Desse modo, os estudos de Angelim (2000) e Silva (2000), que apontam para as questões como qualidade e custos como entraves para o não aproveitamento das areias industriais em substituição às naturais, são contestados pela prática. A Redemix produz concreto a partir de areias industriais com custos 5% menores que os concretos que utilizam areias naturais.

Entretanto, na região de Goiânia e Distrito Federal, por exemplo, nem todas as rochas britadas são adequadas à produção de areia industrial. Rochas xistosas, alguns tipos de calcários não são adequados tecnologicamente à obtenção do produto.

O encarecimento do concreto e também às exigências de condições para produzir areia industrial, como água em abundância, como afirma Caçavana (2000), é parcialmente correta. Pois, no caso da Pedreira Anhangüera, onde o processo de produção utiliza 100.000 l/h de água (que no entanto tem 50% de retorno), se ocorre essa externalidade por um lado, do outro, existe a melhoria de eficiência no consumo de material virgem e de energia, como ficou demonstrado no capítulo cinco.

Em resposta a este problema, estudos recentes realizados pela empresa indicam que a utilização de hidrociclones no tratamento da polpa reduziria essa perda para pouco mais de 20%, isso a um custo adicional para o sistema de R\$ 17.000,00, que é o preço do equipamento.

Desse modo, a possibilidade de aproveitar rejeitos de pedra para produzir areia industrial, pode agregar valor às unidades produtoras de brita, pela melhora nas eficiências da produção e energética. Essa melhoria traz ganhos financeiros, sociais e ambientais, com custos menores que os relacionados à produção de areia natural.

Em contrapartida, a exploração de areia, nos moldes atuais, gera uma série de externalidades que não são consideradas nos custos de produção desse produto. Além disto, a não contabilização das perdas ambientais como, a modificação dos *habitats*, a destruição das matas-de-galeria e ciliares, o assoreamento dos canais, processos de erosão e instabilidade das margens dos principais rios e tributários, irão a médio e longo prazo, afetar não só o valor real do produto, como também o desenvolvimento sustentável da região.

Através das ferramentas utilizadas no trabalho, verificou-se que o aumento da competitividade da areia industrial se dá, principalmente, não só pelo menor custo com o transporte, em razão da proximidade das pedreiras com os centros consumidores, mas também pelas características de qualidade que o produto pode apresentar, além das questões ambientais.

As assertivas anteriormente referenciadas, embasadas nas ferramentas utilizadas no modelo de apoio à decisão apresentado, evidenciam a sua aplicação à questão proposta.

6.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Em função dos resultados teóricos desse trabalho, onde questões como funcionalidade e processos de produção da areia industrial foram levantados, recomendam-se ensaios tecnológicos com areias artificiais, obtidas de diversos tipos rochas, para verificar a resistência e durabilidade dos concretos produzidos, bem como para produção de outras argamassas.

Quanto ao *filler*, embora a Universidade Federal de Campina Grande tenha realizado, para a REDIMIX, ensaios tecnológicos com esse material, que foi adicionado à argilas para obtenção de material cerâmico, sugere-se o desenvolvimento projeto semelhante, visando o aproveitamento desse material para o mesmo fim, com os diversos materiais argilosos encontrados em Goiás e outras regiões.

A adição desse rejeito teria como pontos positivos, a redução na utilização de argila natural, com redução dos impactos ambientais que esta atividade provoca, a possibilidade de redução dos custos com matéria prima por parte das indústrias cerâmicas, além da redução desse material como rejeito nas pedreiras. Os ganhos potenciais são significativos.

Sugere-se ainda o desenvolvimento de trabalhos ou métodos que resolvam a questão das externalidades, com objetivo de internalizar os custos ambientais, não só para a questão de produção de areia, como de qualquer outro produto.

Para o modelo, sugere-se a verificação da sua aplicabilidade para outros produtos e serviços, visando a sua melhoria e aperfeiçoamento, ou mesmo o desenvolvimento de outras metodologias que integrem análise do valor e avaliação do ciclo de vida, com ênfase à utilização das normas ISO 14 040 e 14 041.

REFERÊNCIAS

ABNT. Solos e Rochas. NBR 6502, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1980.

ABNT. Agregados para Concretos. NBR 7211, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1983.

ABNT. Agregados em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária. NBR 7251, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1987.

ABNT. Agregados– Determinação do Inchamento do Agregado Miúdo. NBR 6467, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1987.

ABNT. Agregados– Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis. NBR 7218, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1987.

ABNT. Agregados– Determinação do Teor de Argila e Materiais Pulverulentos. NBR 7219, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1987.

ABNT. Agregados– Determinação de Impurezas Orgânicas em Agregado Miúdo. NBR 7220, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1987.

ABREU, R. C. L. Análise de Valor: Um caminho criativo para otimização dos custos e uso dos recursos. Quality Mark, Rio de Janeiro, 1996.

AGENDA 21 BRASILEIRA. Bases para discussão/ por Washington Novaes (coord), Otto Ribas e Pedro Costa Novaes. MMA/PNUD, Brasília -DF, 2000. p.196.

ANGELIM, R. R. Influência da Adição de Finos Calcários, Silicosos e Argilosos no Comportamento das Argamassas de Revestimento, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Goiânia-GO, UFG, 2000.

CAÇAVANA, L. H. Agregados II: Areia Artificial por Britagem. **Minérios & Minerales, São Paulo, 2000.**

CAMPOS, L. M. S. Um Estudo de Caso para Definição e Identificação dos Custos da Qualidade Ambiental. **Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1996.**

CHEHEBE, J. R. Avaliação do Ciclo de Vida., **Qualitymark, São Paulo-SP, 1998.**

COSTA JÚNIOR, R. Automação em Plantas de Britagem. **Areia e Brita- Volume N° 14, São Paulo-SP, 2001.**

COSTA MATTOS, K. M. Valoração Ambiental no Processo Produtivo. **EESC-USP, São Carlos-SP, 1997.**

CSILAG, J. M. Análise de Valor. **Atlas, São Paulo-SP, 1995.**

DNPM. Anuário Mineral Brasileiro. **Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília-DF, 2001.**

DNPM. Sumário Mineral . **Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília-DF, 2001.**

FABIANOVICZ, R. Conflitos Entre a Extração de Areia e a Expansão Urbana na Região da Grande Curitiba(PR), **Dissertação de Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais, UNICAMP, Campinas-SP, 1998.**

GONÇALES, M; Arthuso, V; Deguti, R. e OHASHI, T. Produção de Areia de Brita com Qualidade. **Areia e Brita, Volume N° 10, . São Paulo-SP, 2000.**

GRAEDEL, T.E. e ALLEMBY, B.R Industrial Ecology. **New Jersey, EUA, 1995.**

HAWKEN, P; LOVINS, A. e LOVINS, L. H. **O Capitalismo Natural: Criando a Próxima Revolução Industrial.** São Paulo, 1999.

LEMOS, H. M. **Competitividade e Meio Ambiente não são mais Antagônicos**, Minérios e Minerales nº 252, São Paulo – SP, 2000.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. Editora Atlas, 2ª Edição, São Paulo-SP, 1985.

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S/A. **Caracterização Tecnológica de Agregados**. <http://www.pr.gov.br/mineropar>, 2002.

MOTTA, R. S. Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais. **Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Brasília-DF, 1998**.

NEVES, L. **Areia Industrial Ganha Mercado**, Minérios e Minerales nº 251, São Paulo – SP, 2000.

NIKLEWSKI, A. Crise de Energia Elétrica – Como Reduzir o Consumo em Instalações de Britagem ? . **Areia e Brita, Volume Nº 14, São Paulo – SP, 2001**.

NOGUEIRA, J. M. e ARAÚJO,R.C. Danos Ambientais: A Contribuição da Valoração Econômica, **I Seminário de Perícia de Crime Ambiental do DPF, Brasília-DF, 2001**.

OHASHI, T. Areia de Brita com Alto Conteúdo de Microfinos na Produção de Concreto de Cimento Portland. **Areia e Brita, Volume Nº 14, São Paulo, 2001**.

PALADINI, E. P. Gestão da Qualidade – Teoria e Prática, **Atlas, São Paulo – SP, 2000**.

PEREIRA FILHO, R. R. Análise do Valor – Processo de Melhoria Contínua, **Nobel, São Paulo – SP, 1994**.

POSSAMAI, O. Apostila do Curso de Análise Funcional, **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / UFSC, 2000**.

ROSSETE, A. N. Planejamento Ambiental e Mineração. Estudo de Caso: A Mineração de Areia no Município de Itaguaí - RJ, **Dissertação de Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais, UNICAMP, Campinas-SP, 1996**.

SILVA, P. A. D. Estudos Geotécnicos na Recuperação Ambiental da Pedreira de Pirenópolis. **Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 141p, 2000.**

TAVARES JÚNIOR, J. M. Uma Aplicação da Metodologia de Análise do Valor na Verificação dos Valores Ambientais do Processo Produtivo numa Empresa do Setor Cerâmico Catarinense. **Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1997.**

TAVEIRA, A. L. S. Análise Qualitativa da Distribuição de Custos Ambientais. Estudo de caso da Samarco Mineração S.A. **Dissertação de Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais, UNICAMP, Campinas-SP, 1997.**

TOLEDO JR, I. B. Custo Padrão na Prática. **O&M Assessoria-Escola e Editora, Mogi das Cruzes – SP, 1989.**

TOSTES, M. M. e FERNANDES, E. Avaliação Econômica de Impacto Ambiental. **CNEN/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2001.**

TUCKER, R. B. Agregando Valor ao seu Negócio. **MAKRON Books do Brasil, São Paulo – SP, 1996.**