



GERENCIAMENTO DA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE OPERAÇÕES
OFFSHORE: APLICAÇÃO DO PENSAMENTO DE CICLO DE VIDA NA OTIMIZAÇÃO
DOS CUSTOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE CO₂

Paulo Roberto dos Santos Carvalho

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira
Filho

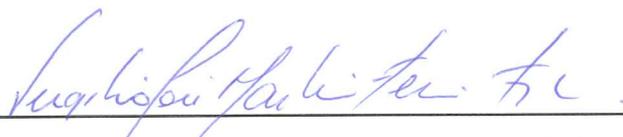
Rio de Janeiro
Julho de 2012

GERENCIAMENTO DA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE OPERAÇÕES
OFFSHORE: APLICAÇÃO DO PENSAMENTO DE CICLO DE VIDA NA OTIMIZAÇÃO
DOS CUSTOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE CO₂

Paulo Roberto dos Santos Carvalho

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:



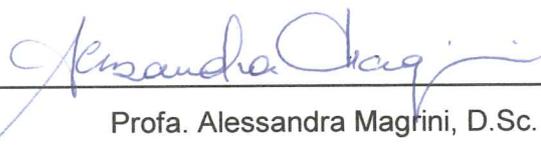
Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.



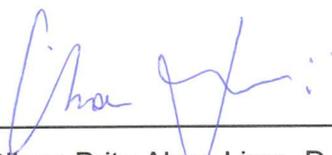
Prof. Rogério de Aragão Bastos do Valle, D.Sc.



Profa. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.



Profa. Alessandra Magrini, D.Sc.



Prof. Gilson Brito Alves Lima, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2012

Carvalho, Paulo Roberto dos Santos

Gerenciamento da Destinação de Resíduos de Operações *Offshore*: Aplicação do Pensamento de Ciclo de Vida na Otimização dos Custos de Neutralização de CO₂/Paulo Roberto dos Santos Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XV, 200 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 159-168.

1. Meio Ambiente. 2. Indústria de Petróleo. 3. Gerenciamento de Resíduos. I. Ferreira Filho, Virgílio José Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Vossa Palavra é um facho que ilumina meus passos, uma luz em meu caminho (SI 118, 105).

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Aurora e Orlando, pela educação e formação profissional que foram capazes de proporcionar aos seus filhos, mesmo com todas as dificuldades existentes no decorrer de suas vidas.

À Simone e Enzo, que silenciosamente e sem perceber, tanto contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Ao Professor Rogério Valle, que foi o principal responsável pelo início de minha atividade acadêmica, e conseqüentemente pela origem de toda minha trajetória na COPPE.

Ao meu orientador Professor Virgílio Ferreira Filho, cujo direcionamento desde o início do doutorado, tanto contribuiu para a execução do trabalho.

À Professora Laura Bahiense, que junto com o Professor Virgílio, vem liderando seu grupo de orientados da PO de maneira a trabalharem de maneira integrada, compartilhando conhecimentos, por mais que as dissertações e teses sejam trabalhos individuais.

Ao colega Cristiano Oliveira de Souza, cuja dissertação foi o ponto de partida para este estudo, e sua fiel contribuição durante seu desenvolvimento.

Aos colegas do SAGE Marcelle e Dejair, que contribuíram de maneira valiosa no desenvolvimento da tese.

Aos colegas da PO, que compartilharam seus conhecimentos e colaboraram bastante durante os seminários acadêmicos.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

GERENCIAMENTO DA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE OPERAÇÕES
OFFSHORE: APLICAÇÃO DO PENSAMENTO DE CICLO DE VIDA NA
OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE CO₂.

Paulo Roberto dos Santos Carvalho

Julho / 2012

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

Esta tese apresenta um modelo matemático de programação inteira mista, para apoio à decisão sobre o melhor destino final para resíduos de operações de Exploração e Produção de hidrocarbonetos. Dentro do critério de melhoria contínua proposto pela Gestão de Ciclo de Vida, o estudo propõe a inclusão do aspecto adicional de sustentabilidade ambiental no processo decisório, geralmente baseado apenas no custo financeiro para destinação. Para isto foram obtidas as quantidades de CO₂ gerado por cada processo de destinação final, através de bancos de dados de Inventários de Ciclo de Vida. Para contabilizar o CO₂ equivalente gerado por cada processo de destinação final em valores em reais, considerou-se a neutralização deste através do plantio de árvores. Adicionalmente, são descritos os resultados de auditorias de Qualidade, Segurança do Trabalho, Meio Ambiente e Saúde Ocupacional nas empresas destinadoras finais de resíduos. Experimentos computacionais foram conduzidos utilizando dados reais da geração de resíduos de perfuração de poços *offshore* executados por empresa de petróleo durante período de dois anos, e os resultados obtidos comparados com os pesquisados na literatura acadêmica, bem como com dados informados pelo IBAMA, oriundos das informações sobre geração e destinação final dos resíduos sólidos das operações de E&P do ano de 2009.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Science (D.Sc).

WASTE MANAGEMENT OF OFFSHORE OPERATIONS: APPLICATION OF LIFE
CYCLE THINKING ON THE OPTIMIZATION OF COSTS TO OFFSET CO₂

Paulo Roberto dos Santos Carvalho

July / 2012

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

This thesis presents a mathematical model of mixed integer programming, to support the decision on the best final destination for waste from operations of hydrocarbons exploration and production. Within the criterion of continuous improvement proposed by the Lifecycle Management, the study proposes to add the additional aspect of environmental sustainability in decision-making, usually based solely on financial cost for destination. For this the amount of CO₂ generated by each process of disposal has been obtained through Life Cycle Inventories databases. To account for the CO₂ equivalent generated by each process of disposal in Brazilian Reals, it was considered the neutralization of it by planting trees. Additionally, the results of Quality, Safety, Occupational Health and Environment audits in waste disposal companies are reported. Computational experiments were conducted using actual waste generation data from drilling operations performed by offshore oil company during a period of two years; and the results compared with those surveyed in the academic literature as well as with data reported by IBAMA, about the information on waste generation and disposal of 2009 E&P operations.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA	iii
CITAÇÃO	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO GERAL	6
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.3. CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO	7
1.4. METODOLOGIA	7
1.5. APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. GESTÃO DE CICLO DE VIDA (GCV)	14
2.1.1. SISTEMAS DE GESTÃO DE CICLO DE VIDA	17
2.2. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)	18
2.3. SISTEMAS DE GESTÃO	23
2.3.1. SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE	24
2.3.2. SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL	25
2.3.3. SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE	27
2.3.4. SISTEMAS DE GESTÃO INTEGRADA	30
2.4. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	31
2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	32
2.4.2. TRANSPORTE TERRESTRE DE RESÍDUOS	33
2.4.2.1. TIPOS COMUNS DE VEÍCULOS PARA TRANSPORTE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	34
2.4.3. TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	41
2.4.3.1. RECICLAGEM / RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	42
2.4.3.2. INCINERAÇÃO	42
2.4.3.3. ATERROS SANITÁRIOS	43
2.4.3.4. ATERROS INDUSTRIAIS	43

2.4.3.5. REUSO	44
2.4.3.6. RECICLAGEM	44
2.4.3.7. COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS EM FORNOS DE PRODUÇÃO DE CIMENTO	46
2.4.4. GERAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	49
2.4.5. PROJETO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO (PCP)	50
2.4.6. ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DE RESÍDUOS	52
2.5. DA LOGÍSTICA REVERSA À LOGÍSTICA AMBIENTAL	53
2.5.1. A LOGÍSTICA AMBIENTAL NAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO OFFSHORE	57
2.6. LICENCIAMENTO AMBIENTAL DAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO OFFSHORE	59
2.7. GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)	60
2.8. LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICÁVEIS	66
2.9. MODELOS E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA	70
2.9.1. ELEMENTOS DE UM PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO	71
2.9.2. FORMULAÇÃO GERAL DE PROBLEMA EM PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA	72
2.9.3. PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA LINEAR E NÃO LINEAR	72
2.9.4. PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA	73
2.9.4.1. PROBLEMA (LINEAR) INTEIRO MISTO	73
2.9.4.2. PROBLEMA (LINEAR) INTEIRO	74
2.9.4.3. PROBLEMA (LINEAR) INTEIRO BINÁRIO	74
2.9.4.4. PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA	74
3. MODELO PROPOSTO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS DE OPERAÇÕES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO OFFSHORE	76
3.1. AUDITORIA DOS DESTINOS FINAIS	81
3.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	85
3.3. INCLUSÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA AVALIAÇÃO	86
3.4. DEFINIÇÃO DO MELHOR DESTINO FINAL AO INSERIR ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE	118
3.5. NOTAÇÃO E MODELAGEM PROPOSTOS PARA O PROBLEMA	119
3.5.1. CONJUNTOS	119

3.5.2. PARÂMETROS	120
3.5.3. VARIÁVEIS DE DECISÃO	125
3.5.4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	127
4. RESULTADOS	136
5. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	162
5.1. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM A LITERATURA	163
6. CONCLUSÕES	169
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	176
7.1. OUTRAS ATIVIDADES DA CADEIA DE E&P	176
7.2. OUTRAS ATIVIDADES DA CADEIA DO PETRÓLEO	176
7.3. ABRANGÊNCIA DO PCV PARA OUTROS ASPECTOS AMBIENTAIS	176
7.4. INSERÇÃO DE ASPECTOS SOCIAIS	178
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
9. APÊNDICES	192
9.1. FORMULAÇÃO DO MODELO PROPOSTO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA MISTA EM MOSEL	192

SUMÁRIO DE FIGURAS

NÚMERO	NOME	PÁGINA
2.1	<i>O Triple Bottom Line</i>	15
2.2	Modelo de GCV considerando somente a vertente ambiental	16
2.3	Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida	22
2.4	Caminhão coletor tipo poliguindaste	34
2.5	Caminhão basculante trucado	35
2.6	Caminhão coletor tipo <i>Roll-On/Roll-Off</i>	36
2.7	Carreta	37
2.8	Viaturas para coleta de resíduos de serviços de saúde	37
2.9	Caminhão compactador para coleta de lixo hospitalar	38
2.10	Furgão para coleta de resíduos de serviços de saúde	39
2.11	Caminhão-tanque usado para o transporte de lodo até o aterro sanitário	40
2.12	Comparação entre Logística Reversa e Logística Verde	55
2.13	Atividades da cadeia de valor da indústria do petróleo relacionadas à MCG	65

SUMÁRIO DE TABELAS

NÚMERO	NOME	PÁGINA
1.1	Tarifas diárias de navios-sonda e sondas semi-submersíveis	3
2.1	Tipo de veículo e o respectivo resíduo que pode transportar	41
2.2	Acompanhamento dos Resíduos exigido pelo IBAMA	60
3.1	14 Práticas de Gestão de QSMS da Empresa estudada	82
3.2	Graus obtidos por cada empresa destinadora de resíduos através de auditoria	83
3.3	Processo “ <i>Transport, single unit truck, diesel powered</i> ”	88
3.4	Processos dos bancos de dados de ICV utilizados para obtenção do CO2 equivalente gerado por cada processo de destinação final	91
3.5	Custos para neutralizar o CO2 equivalente do transporte de resíduos gerados em 2009 aos diferentes destinos finais	105
3.6	Custos para neutralizar o CO2 equivalente do transporte de resíduos gerados em 2010 aos diferentes destinos finais	110
3.7	CO2 equivalente gerado e custos por processo de destinação	115
3.8	Custos de transporte	121
4.1	Resultados de 2009	137
4.2	Resultados de 2010	143
4.3	Resultados de 2009 versus Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11	149
4.4	Resultados de 2010 versus Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11	155
5.1	Comparação dos Resultados da Tese com a Literatura	164

SUMÁRIO DE GRÁFICOS

NÚMERO	NOME	PÁGINA
2.1	Emissões de CO2 em bilhões de toneladas	63
2.2	Emissão de GEE por tipo de resíduo sólido no Município do Rio de Janeiro (Gg CO2eq)	64

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BS	<i>British Standard</i> – Norma Britânica
BSI	<i>British Standards Institution</i> – Instituição de Normas Britânicas
CFCs	Clorofluorcarbonos
CGPEG	Coordenação Geral de Petróleo e Gás
CH ₄	Metano
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO	Monóxido de Carbono
COV-NM	Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i> – Conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia Produtiva
DILIC	Diretoria de Licenciamento Ambiental
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Elementos que causam demanda química de oxigênio
E&P	Exploração e Produção
ETRs	Estações de Transferência de Resíduos
FOB	<i>Freight on Board</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GCV	Gestão de Ciclo de Vida
HFCs	Hidroclorofluorcarbonos
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change – <i>Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Organização Internacional para a Normalização
LPPer	Licença Prévia de Perfuração
MARPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por

	Navios
MCG	Mudanças Climáticas Globais
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NBR	Norma Brasileira
NOx	Óxidos de Nitrogênio
NR	Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho
N2O	Óxido Nitroso
O3	Ozônio
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i> – Séries de Normas para Auditorias de Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional
PEAT	Programa de Educação Ambiental dos Trabalhadores
PCV	Pensamento de Ciclo de Vida
PFCs	Perfluorcarbonos
PBT	Peso Bruto Total
PCP	Projeto de Controle da Poluição
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i> – Planejar, Executar, Verificar, Atuar
PET	Politereftalato de etileno
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> - policloreto de polivinila
QSMS	Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSU	Resíduos Sólidos urbanos
SAGE	<i>Strategic Advisory Group on Environment</i> – Grupo Assessor Estratégico sobre Meio Ambiente
SF6	Hexafluoreto de Enxofre
SST	Saúde e Segurança no Trabalho
TC	<i>Technical Committee</i> – Comitê Técnico
UNEP	<i>United Nations Environmental Programme</i> – Programa Ambiental das Nações Unidas
US EIA	<i>United States Energy Information Administration</i> – Administração de Informações de Energia dos Estados Unidos
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i> – Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável

1. INTRODUÇÃO

Há trinta anos, biólogos e outros especialistas usavam o termo sustentabilidade num sentido bem pragmático: designar os limites anuais máximos para a pesca numa determinada região, de modo a que a reprodução dos peixes não ficasse ameaçada e, assim, houvesse disponibilidade de um estoque para futuras pescarias. A idéia inicial era apenas compatibilizar a exploração econômica de recursos naturais e a conservação dos ecossistemas, mas aos poucos técnicos e diplomatas começaram a falar da sustentabilidade não apenas de um lago ou de uma baía, mas do próprio planeta. Portanto, um conceito criado para orientar a gestão de atividades extrativistas passou a ser aplicado a toda a biosfera. Em 1988, o famoso relatório Bruntland, da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991), deu sua definição mais difundida: o desenvolvimento sustentável é aquele em que as gerações atuais conseguem satisfazer suas necessidades sem comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras. A partir deste momento, cada organização produtiva — da empresa à propriedade rural familiar — passou a ser responsabilizada. Suas práticas sociotécnicas passaram a ser avaliadas: garrafas retornáveis de vidro foram consideradas mais sustentáveis do que garrafas descartáveis de PET; fontes de energia solar, mais sustentáveis do que termoelétricas a óleo ou a carvão, etc.(CARVALHO *et al.*, 2008).

Dentro deste conceito de sustentabilidade, BENITEZ *et al.* (2006) definem a empresa eco-eficiente como sendo aquela que usa menos recursos naturais, isto é, reduz o consumo de energia e minimiza os impactos no ambiente sem perder o foco no negócio.

As atividades de Exploração e Produção (E&P) são fundamentais para a manutenção dos níveis de reservas e produção, no Brasil e em todo o mundo, e é muito pouco provável que o petróleo e o gás natural tenham sua importância reduzida como fonte de energia e matérias-primas num futuro próximo. Assim sendo, é fundamental que sejam conduzidas de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável (MARIANO e LA ROVERE, 2006).

Na exploração de hidrocarbonetos, as empresas operadoras buscam reservas que posteriormente poderão entrar em produção, disponibilizando produtos com grande variedade de utilidades no mundo moderno.

As operações de perfuração exploratória *offshore* representam uma parte importante da exploração. Estas operações consistem basicamente na perfuração de poços no fundo do mar. São executadas por plataformas ou sondas de perfuração *offshore* de diferentes tipos, em função de características geográficas como, por exemplo, a lâmina d'água do local onde será perfurado o poço. As sondas para estes serviços são geralmente contratadas pelas companhias operadoras.

As atividades de Exploração e Produção (E&P) de hidrocarbonetos podem afetar o meio ambiente de forma importante, caso não sejam conduzidas de acordo com práticas consolidadas de gestão ambiental e em obediência à legislação ambiental vigente, sendo as etapas de perfuração e de transporte dos hidrocarbonetos produzidos as de maior potencial de riscos de acidentes com conseqüências ambientais, em função da possibilidade de danos extensos caso ocorram *blow-outs* de poços ou derramamentos de óleo. Entretanto, é importante lembrar que a indústria de petróleo tem evoluído muito nas últimas décadas, reduzindo ao máximo os efeitos ambientais de suas atividades, investindo em programas de gestão ambiental, bem como em tecnologias de controle da poluição e de melhoria de seus processos, o que se traduz na utilização racional dos recursos naturais e na redução da geração de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos (MARIANO e LA ROVERE, 2006).

Aspectos atuais do cenário da indústria de petróleo, como por exemplo, a pouca disponibilidade de sondas de perfuração *offshore*, fazem com que os custos de uma operação deste tipo sejam elevadíssimos. De acordo com RIGZONE (2011), as tarifas diárias de navios-sonda e sondas semi-submersíveis, que são as utilizadas em maiores lâminas d'água, variam de 250 a 408 mil dólares, conforme Tabela 1.1 abaixo:

Tabela 1.1 – Tarifas diárias de navios-sonda e sondas semi-submersíveis

SONDAS FLUTUANTES			
Tipos	Em operação	Frota Total	Tarifa diária média (US\$)
Navio-sonda < 4000' lâmina d'água	5	8	247,000
Navio-sonda 4000'+ lâmina d'água	43	65	454,000
Semisub < 1500' lâmina d'água	11	17	233,000
Semisub 1500'+ lâmina d'água	57	87	303,000
Semisub 4000'+ lâmina d'água	86	106	405,000

Fonte: RIGZONE (2011)

Apesar dos volumes significativos de resíduos gerados em operações de perfuração, em função destes custos operacionais elevados, os gastos com a gestão dos resíduos acabam sendo considerados desprezíveis, e conseqüentemente não se costuma levar em conta quaisquer possíveis benefícios financeiros obtidos através de uma gestão eficiente e eficaz dos mesmos, e seu possível reuso ou venda para outra necessidade.

Por outro lado, a possibilidade de manutenção ou melhora de imagem corporativa das empresas amplia este espaço, conforme afirmam diversos autores: Segundo AZZONE e NOCI (1998) em termos competitivos, uma vez que o aumento das demandas ambientais das “partes interessadas” será muito grande, apenas as empresas que implementaram programas de sustentabilidade com antecedência serão competitivas a longo prazo; De acordo com DAUB (2007), atualmente as companhias necessitam justificar suas atividades para um público crítico e não devem mais limitar-se em comunicar apenas as dimensões econômicas de suas operações. Contrariamente, grupos de “partes interessadas” estão hoje em dia demandando informações e declarações sobre questões sociais e ambientais; MONEVA *et al.* (2006) afirmam em seu trabalho que o conceito de sustentabilidade se tornou crescentemente relevante na agenda das empresas depois do Relatório Brundland de 1987, e os informes sociais e ambientais representam um papel importante na análise do desempenho sustentável das organizações.

LUCENA *et al.* (2008) informam que em suas operações, a indústria de petróleo produz resíduos líquidos, sólidos e gasosos que podem ser prejudiciais ao meio-ambiente, e que um dos resíduos produzidos pela citada indústria é o “cascalho de perfuração”, produzido em grande escala durante a perfuração de poços de petróleo.

Neste processo, os fragmentos das rochas cortados pela broca (cascalhos) são carregados pelo fluido de perfuração até as peneiras vibratórias na superfície, onde são separados do fluido e descartados em um dique ou tanque. Por não haver uma remoção total do fluido impregnado nos cascalhos, estes podem conter contaminantes, tais como: metais pesados, alta salinidade, óleos e graxas, elementos que causam demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elementos que causam demanda química de oxigênio (DQO) e elementos que causam alcalinidade.

O trabalho de SOUZA *et al.* (2008) apresenta que, somente de cascalho e fluido de perfuração foram geradas 3.702,90 toneladas, durante a perfuração e completação de seis poços.

Esta tese utilizou informações e dados reais da geração de resíduos de perfuração de poços *offshore* de empresa de petróleo, durante período de operações ocorridos no Brasil durante os anos de 2009 e 2010, e esta informou que os custos totais com Segurança, Saúde e Meio Ambiente em operações de perfuração exploratória *offshore* representaram em torno de 10% dos valores totais gastos por poço nas mesmas. Soma-se a este o fato de que estas operações ocorrem num período de tempo determinado, variável principalmente em função do número de poços a perfurar, apresentando então pouca atratividade para uma busca por minimização dos custos relativos à gestão dos resíduos.

A experiência na citada empresa é de que no planejamento e contratação das estruturas logísticas de apoio às operações em questão não são consideradas possíveis oportunidades de redução de custos ou geração de receitas financeiras, através do reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos. A gestão destes resíduos vem sendo estudada *a posteriori*, sob responsabilidade da área de meio ambiente, não havendo considerações sobre este tema na fase de planejamento.

Atualmente as operações de exploração e produção *offshore* recebem materiais, equipamentos, combustíveis e mantimentos por via marítima, através de embarcações conhecidas como “barcos de apoio”, que são abastecidas em terra em terminais marítimos chamados de “bases de apoio”.

Os citados barcos de apoio, além de abastecer a plataforma com os bens necessários ao suporte da operação, são também responsáveis por levar para a base os resíduos gerados, onde são então encaminhados para seu destino final.

O transporte de pessoas para as unidades *offshore* é feito geralmente por via aérea, através de helicópteros, com o embarque de passageiros em aeroportos em terra e desembarque em helipontos nas sondas. Esta é uma operação frequente e regular, já que o trabalho em turnos nas plataformas exige que trabalhadores constantemente estejam em regime de revezamento.

Não obstante a aparente baixa atratividade econômica da gestão dos resíduos de operações de exploração e produção *offshore*, a exigência de sustentabilidade ambiental, social e econômica alcançou inexoravelmente as empresas, resultando em uma demanda crescente de melhoria destes aspectos pelas “partes interessadas”.

Para mensurar a sustentabilidade de cada prática sociotécnica, surgiu um método chamado Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esta permite uma operacionalização quantitativa do conceito de sustentabilidade, situando cada uma destas práticas em escalas que medem sua contribuição para mudanças climáticas, para geração de resíduos sólidos, etc. Para que o próprio conceito de ciclo de vida seja, por sua vez, operacionalizado, propõe-se agora a Gestão de Ciclo de Vida (GCV), ou seja, um sistema de gestão que recolha, estructure e dissemine informações relacionadas ao produto, permitindo programas de melhoria contínua que minimizem as cargas ambientais e sociais ao longo de todo o ciclo de vida do produto (UNEP, 2007).

Em suma, ante os elevadíssimos custos das operações de exploração e produção *offshore*, os custos para a gestão dos resíduos acabam sendo considerados desprezíveis. Conseqüentemente, não costumam ser levados em conta quaisquer possíveis benefícios financeiros obtidos através de uma gestão eficiente e eficaz dos mesmos, oriundos, por exemplo, de um possível reuso, ou de venda para uma outra necessidade. Além disso, também não são avaliadas as possíveis opções de destinação final dos resíduos à luz da geração de gases de efeito estufa, pelo fato de ainda não haver cobrança das autoridades para tal.

Face ao exposto, pode-se formular a seguinte pergunta de pesquisa: O conceito de GCV é aplicável para avaliar as oportunidades de melhora identificadas na gestão de resíduos das operações em estudo?

Visando responder a pergunta, foi possível formular os objetivos deste trabalho.

1.1. OBJETIVO GERAL

Introduzir o conceito de Gestão de Ciclo de Vida (GCV) na tomada de decisão do processo de gerenciamento de resíduos gerados por operações de exploração e produção *offshore*, utilizando um modelo de programação matemática, que define a melhor opção de destino final, considerando custos de destinação, transporte e para neutralizar o CO2 equivalente gerado por cada opção disponível, bem como condições de Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde (QSMS) de cada opção de destino.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os tipos de destinação final e classificação dos resíduos gerados nas operações *offshore*, segundo a norma ABNT NBR 10004:2004;
- Descrever os veículos utilizados na movimentação dos resíduos gerados nas operações de Exploração e Produção (E&P) *offshore*;
- Ordenar as opções de destinos finais de acordo com requisitos de QSMS preconizados pelas normas ISO:9001, ISO:14001 e OHSAS 18001;
- Obter, através da utilização de bancos de dados de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), os valores de CO2 equivalente estimados, gerados por cada opção de destino final;
- Calcular os custos estimados inerentes à neutralização do CO2 equivalente gerado por cada opção de destino final, caso fossem plantadas árvores para este fim;
- Utilizar um modelo de Programação Matemática Inteira Mista, com o objetivo de minimizar os custos de transporte, destinação final e de neutralização do CO2 equivalente gerado, determinando o fluxo de resíduos enviados para cada empresa de destino final;
- Determinar a empresa transportadora que pode realizar a movimentação do resíduo do ponto de origem (terminal de apoio marítimo) até a empresa de destino final, fornecendo a quantidade necessária de veículos para cada operação, atendendo ao limite de capacidade de cada empresa de destino final e de cada tipo de veículo;

- Obter soluções ótimas para o problema de minimização de custos de transporte, destinação final e de neutralização do CO2 equivalente gerado, utilizando dados reais de uma operação de perfuração *offshore*.

1.3. CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo pretende antecipar a evolução das demandas legislativas e da sociedade, buscando soluções que não são exigidas atualmente, porém que podem possibilitar um melhor controle e conseqüentemente, uma diminuição dos custos atuais, além de poderem tornar-se requerimentos futuros.

Como aspecto inovador, é considerada a neutralização de gases de efeito estufa gerados nas operações de gerenciamento de resíduos de perfuração *offshore*, que é transformada em custos financeiros, gerando uma hierarquia implícita no modelo proposto pela tese.

Deste modo, o trabalho pretende contribuir com a evolução da gestão ambiental da atividade de exploração e produção de hidrocarbonetos (E&P), através do enfoque no gerenciamento de resíduos de perfuração *offshore*, e assim, incentivar o desenvolvimento de trabalhos futuros nas demais atividades da cadeia produtiva do petróleo.

1.4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no estudo e para proporcionar uma visão didática são apresentadas, a seguir, as fases de seu desenvolvimento.

1.4.1. LEVANTAMENTO DA LITERATURA

A fim de buscar as informações mais atualizadas a respeito do tema estudado nesta tese, foram feitas pesquisas bibliográficas através da internet, a maioria delas através do Portal de Periódicos CAPES (2012), com o uso das palavras-chave *Waste Management, Life-Cycle Management, Life-Cycle Analysis, Oil Industry, Offshore*

Drilling Operations, Carbon Footprint e Carbon Neutralization. Além disso, foram buscadas também publicações específicas da indústria do petróleo, tais como os anais da *RIO OIL & GAS* (2012), artigos da *SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS* (2012) e da *INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS* (2012).

As fontes pesquisadas que foram referenciadas no estudo estão listadas no Capítulo 6 - Bibliografia.

1.4.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para GIL (2009), o objetivo fundamental da pesquisa é fornecer respostas para os problemas, através do emprego de procedimentos científicos. Segundo o autor, as pesquisas se distinguem em três níveis:

Exploratória – tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. É realizada especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis.

Descritiva – tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados.

Explicativa – tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. É o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

VERGARA (2009) acrescenta ainda à lista acima, que denomina classificação da pesquisa quanto aos fins, os seguintes grupos ou tipos de pesquisa:

Metodológica – se refere a instrumentos de captação ou manipulação da realidade. Está associada a caminhos, formas, maneiras, procedimentos para atingir determinado fim.

Aplicada – fundamentalmente motivada pela necessidade de resolver problemas concretos, mais imediatos ou não. Tem finalidade prática, ao contrário da pesquisa pura, motivada, basicamente, pela curiosidade do pesquisador e situada, sobretudo, no nível da especulação.

Intervencionista - tem como principal objetivo interpor-se, interferir na realidade estudada, para modificá-la. Não se satisfaz, portanto, em apenas explicar. Distingue-se das pesquisas aplicadas pelo compromisso de não apenas propor resoluções de problemas, mas também de resolvê-los efetiva e participativamente.

Assim, de acordo com as definições acima, quanto aos fins, o presente estudo enquadra-se na categoria de pesquisa exploratória, pois tem como objetivo proporcionar a familiarização com um problema pouco estudado e a verificação prática da aplicação das soluções propostas, abrindo o caminho para o aprofundamento destas soluções.

1.4.3. DELINEAMENTO DA PESQUISA

Segundo GIL (2009), apesar de não poder ser tomada como absolutamente rígida, visto que algumas pesquisas, em função de suas características, não se enquadram facilmente num ou noutro modelo, na maioria dos casos é possível rotular as pesquisas conforme abaixo:

Pesquisa bibliográfica – desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisa bibliográfica. Sua principal vantagem reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente.

Pesquisa documental – assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica. A única diferença entre ambas está na natureza das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica utiliza fundamentalmente a contribuição dos diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que podem ainda ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa.

Pesquisa experimental – de maneira geral, o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis seriam capazes de influenciá-lo, definir que formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Há poucas limitações quanto à possibilidade deste tipo de pesquisa quando os objetos em estudo são entidades físicas, como por exemplo, porções de líquidos, bactérias ou ratos, porém, no caso de entidades sociais, tais como pessoas, grupos ou instituições, as limitações são bastante evidentes.

Pesquisa *ex post facto* – é uma investigação sistemática e empírica na qual o pesquisador não tem controle direto sobre as variáveis, porque já ocorreram suas manifestações, ou porque são intrinsicamente não manipuláveis, tais como: sexo, classe social, nível intelectual, preconceito, autoritarismo, etc. Neste caso são feitas inferências sobre a relação entre variáveis sem observação direta.

Levantamento de campo (*survey*) – se caracteriza pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer. Consiste, basicamente, na solicitação de informações a um grupo significativo de pessoas acerca do problema estudado, para, posteriormente, através de análise quantitativa, obter as conclusões correspondentes aos dados coletados. Quando o levantamento recolhe informações de todos os integrantes do universo pesquisado, tem-se um censo, que é extremamente útil e indispensável em boa parte das investigações sociais. Entretanto, na maioria dos levantamentos, seleciona-se mediante procedimentos estatísticos, uma amostra significativa de todo o universo, que é tomada como objeto de investigação. As conclusões obtidas através desta amostra são projetadas para a totalidade do universo, considerando a margem de erro obtida através de métodos estatísticos.

Estudo de campo – apresentam muitas semelhanças com os levantamentos, porém, procuram muito mais o aprofundamento das questões propostas do que a distribuição das características da população segundo determinadas variáveis. Consequentemente, o planejamento do estudo de campo apresenta muito maior flexibilidade, podendo ocorrer que seus objetivos sejam reformulados ao longo do processo de pesquisa. Além disso, no estudo de campo estuda-se um único grupo ou comunidade em termos de sua estrutura social, ou seja, ressaltando a interação entre seus componentes. Assim, o estudo de campo tende a utilizar muito mais técnicas de observação do que de interrogação.

Estudo de caso – caracteriza-se pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de modo a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. Permite: explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos; descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação; e explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos. Pode ser utilizado tanto em pesquisas exploratórias quanto descritivas e explicativas.

Deste modo, considerando com as opções relativas ao delineamento da pesquisa apresentadas, entende-se que este trabalho apresenta um estudo de caso, uma vez que explora situação da vida real com limites não definidos, em contexto bastante complexo.

1.5. APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica definindo os principais conceitos abordados nesta tese:

- Na seção 2.1 é apresentado o conceito de Gestão de Ciclo de vida (GCV) e Pensamento de Ciclo de Vida (PCV).
- A seção 2.2 define a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV), com sua estrutura e normas técnicas aplicáveis.
- A seção 2.3 discorre sobre os conceitos e definições dos sistemas de gestão, passando pelos sistemas de gestão da qualidade, ambientais e de segurança e saúde até os sistemas de gestão integrados.
- A seção 2.4 conceitua o gerenciamento de resíduos sólidos, abrangendo sua classificação, formas de transporte terrestre, tratamento e destinação final. Adicionalmente, aborda a geração de gases de efeito estufa nestas operações, bem como apresenta os conceitos do gerenciamento de resíduos sólidos nas operações de E&P *offshore* à luz dos requisitos do IBAMA.
- A seção 2.5 apresenta a evolução da logística, desde sua origem até a logística ambiental, explicando suas aplicações nas operações de perfuração *offshore*.

- A seção 2.6 comenta sobre o licenciamento ambiental das operações de perfuração *offshore*, e como é tratado o gerenciamento de resíduos dentro deste contexto.
- Na seção 2.7 é abordada a questão dos gases de efeito estufa, incluindo o conceito de pegada de carbono, cenários atuais e futuros de emissões.
- A seção 2.8 finaliza o capítulo apresentando a relação de normas técnicas e legislação aplicáveis, mais importantes para o este estudo.

No capítulo 3 é descrito o modelo proposto para gestão de resíduos de operações de E&P *offshore*, no qual são consideradas auditorias de Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde (QSMS) nos destinos finais e seus respectivos resultados; a inclusão da sustentabilidade ambiental na avaliação, através da obtenção do CO2 equivalente gerado por cada processo de destinação final e a inserção de custos neste aspecto adicional de sustentabilidade; a metodologia de resolução e o processo de experimentação computacional, no qual são descritos os dados envolvidos tais como custos e capacidades dos destinos finais e dos veículos.

O capítulo 4 apresenta os resultados do modelo, comparando-os com os resultados consolidados das informações sobre geração e destinação final dos resíduos sólidos dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo referentes ao ano de 2009, conforme publicados na Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11. Além disso, mostra detalhes sobre as ferramentas utilizadas para a implementação do modelo.

No capítulo 5 os resultados são analisados e discutidos, bem como comparados com a literatura pesquisada, e em seguida, o capítulo 6 descreve as conclusões da tese.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta recomendações para trabalhos futuros, com exemplos para outras atividades da cadeia de petróleo e especificamente de E&P; considerando a abrangência do pensamento de ciclo de vida para outros aspectos ambientais; e por último abordando a inserção de aspectos sociais no modelo estudado.

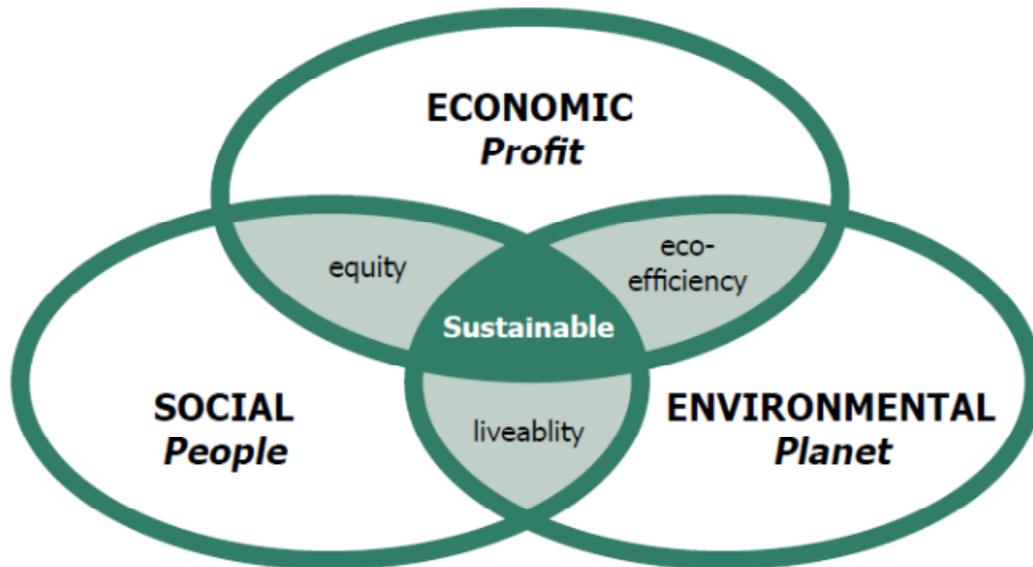
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GESTÃO DE CICLO DE VIDA (GCV)

UNEP (2007) explica que a jornada em direção à sustentabilidade requer que as empresas encontrem maneiras inovadoras para serem rentáveis e ao mesmo tempo expandirem as fronteiras tradicionais do negócio para incluir as dimensões ambientais e sociais. Em outras palavras, considerar o chamado “*Triple Bottom Line*” (“Triplo Objetivo” ou “Tripé da Sustentabilidade”), conforme Figura 2.1 e introduzir o conceito de “Pensamento de Ciclo de Vida” (PCV). Além disso, o mesmo trabalho informa que a GCV visa minimizar os problemas ambientais e sócio-econômicos associados com o produto ou *portfólio* de produtos através de todos seus ciclos de vida e cadeias de valor. Adicionalmente, que a GCV permite operacionalizar a sustentabilidade e o pensamento de ciclo de vida nas empresas, através da melhoria contínua dos sistemas de produção, bem como auxiliando na assimilação das políticas integradas de produção.

O PCV é um conceito que visa identificar melhorias possíveis para bens e serviços sob a forma de menores impactos ambientais e uso reduzido de recursos através de todas as fases de vida (EC, 2012). Adicionalmente, também tem sido definido como a incorporação da abordagem básica da Análise de Ciclo de Vida (ACV), sem a necessidade de uma avaliação detalhada de cada processo, utilizando uma gama de fontes de referência de dados para identificar tendências nos resultados e conclusões que são consideradas como representativas (LAZAREVIC *et al.*, 2012).

Figura 2.1 – O *Triple Bottom Line*

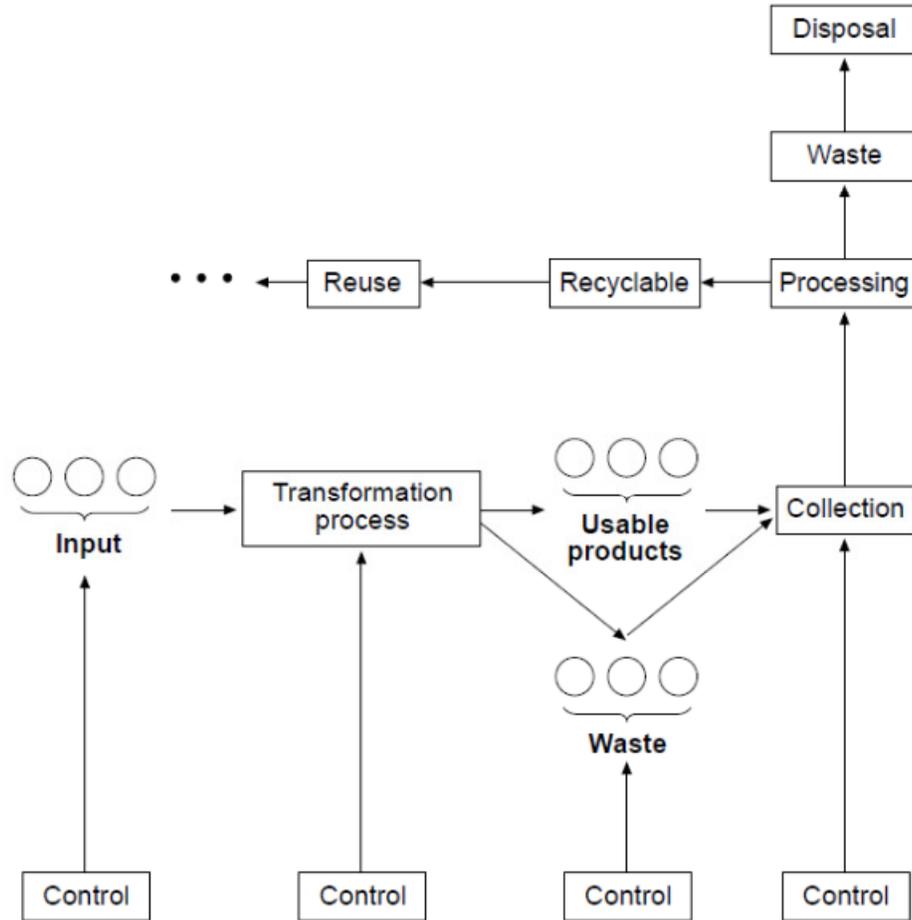


Fonte: UNEP (2007)

Nos anos 80 as medidas de prevenção à poluição, processos mais “limpos” de produção, e otimização das tecnologias de produção reduziram o uso de recursos, emissões atmosféricas e resíduos, gerando economia significativa para as organizações. E que nos anos 90 as organizações começaram a implantar sistemas de gestão ambiental com base na ISO 14001, a fim de assegurar a melhoria contínua de seu desempenho ambiental (UNEP, 2007).

Tal fato é confirmado no estudo de MADU (1996), que apresenta um modelo de GCV do produto, onde o produtor mantém controle de sua obra durante os diferentes estágios de seu ciclo de vida. Neste modelo, apresentado na Figura 2.2, a responsabilidade do produtor vai além do ponto onde o produto está desempenhando sua função operacional para incluir também sua concepção e disposição final do mesmo.

Figura 2.2 – Modelo de GCV considerando somente a vertente ambiental



Fonte: MADU (1996)

Conforme UNEP (2007), existe uma tendência nas empresas, das mesmas se tornarem mais e mais responsáveis por seus papéis na sociedade. Como grandes consumidores e produtores, os membros do setor produtivo têm obrigações com a sociedade e devem ser responsáveis por suas atividades. Além disso, informa que nas últimas décadas, as organizações assumiram maior responsabilidade com relação ao meio ambiente, demonstrando que suas iniciativas e melhorias ambientais resultam em benefícios econômicos.

Muitas empresas atualmente consideram o conceito de ciclo de vida, entendendo que seus produtos geram impactos ambientais durante toda sua vida útil, isto é, seu uso, distribuição e descarte modificam o meio ambiente.

Através das melhorias introduzidas no ciclo de vida do produto, as empresas podem lograr benefícios econômicos adicionais, tanto na sua produção, como, por exemplo, através da redução de geração de resíduos, substituição de materiais perigosos, etc., como no próprio mercado, através da melhoria da imagem e vantagens competitivas.

Finalmente, UNEP (2007) conclui que a GCV é para organizações que expressam o desejo de produzir ou comercializar produtos que sejam tanto sustentáveis quanto economicamente viáveis, a fim de melhorar sua imagem pública, visibilidade, relações com suas partes interessadas (*stakeholders*), valor de mercado, bem como seu preparo para lidar com contextos regulatórios mutáveis.

2.1.1. SISTEMAS DE GESTÃO DE CICLO DE VIDA

UNEP (2007) apresenta também o conceito de que a GCV não é uma ferramenta ou metodologia única, mas um sistema de gestão para coletar, estruturar e disseminar informações relativas aos produtos, oriundas de diversos programas, conceitos e ferramentas, incorporando os aspectos ambientais, econômicos e sociais destes produtos, através de seu ciclo de vida.

O citado trabalho explica que a filosofia da GCV é de que a organização deve ir além dos limites de suas instalações, desejando expandir seu escopo de colaboração e comunicação com todas as partes interessadas da cadeia de valor.

Além disso, a GCV pode ser especificamente adaptada e gradualmente introduzida em qualquer organização, que pode iniciar com reduzidas metas e objetivos de acordo com seus recursos, e progressivamente tornar-se mais ambiciosa com o passar do tempo. Para o êxito nos resultados, é necessário o comprometimento da alta administração e a participação ativa de empregados-chave de departamentos relevantes da organização.

Em resumo, a GCV é um processo dinâmico e voluntário, melhor implantado através de um processo gradual, com especial atenção a atividades que garantam a melhoria contínua.

Conclusivamente, UNEP, 2007 recomenda utilizar o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), em linha com as normas ISO 9001 e 14001.

2.2. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)

Uma das ferramentas da GCV é a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Segundo SALTER e FORD (2001), a ACV foi desenvolvida para estudar as cargas ambientais de um produto, processo ou atividade em todo o seu ciclo de vida. Foi a primeira técnica de análise ambiental a adotar o que era descrito como enfoque holístico.

Segundo FAVA *et al.* (1991), uma das primeiras publicações sobre um estudo semelhante ao que hoje conhecemos como ACV foi apresentada por Harold Smith na *World Energy Conference* em 1963. Neste trabalho foi reportado o cálculo de energia cumulativa requerida para a produção de intermediários e produtos químicos.

No fim dos anos 60, o resultado de trabalhos objetivando prever as mudanças da população e como estas mudanças afetariam a demanda de recursos naturais, foi publicado no *Meadows' Book* e no *Blueprint for Survivor* (Clube de Roma). A conclusão foi de que o aumento da demanda por recursos naturais levaria ao esgotamento dos mesmos em algumas décadas.

VIGON *et al.* (1993) afirmam que em 1969 foi conduzida a primeira análise de inventário de ciclo de vida (ICV), pouco mais tarde denominada *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). Realizado pelo *Midwest Research Institute*, analisou diferentes recipientes de bebidas para a *Coca Cola Company*, objetivando encontrar a resposta para a pergunta "Qual recipiente tem o menor lançamento de rejeitos no ambiente e menos afeta as reservas de recursos naturais?". Diferentemente dos estudos anteriores que só analisavam o recurso energético, este estudo quantificava também as matérias-primas e a carga ambiental do processo de manufatura de cada tipo de recipiente. Semelhante ao REPA, foi desenvolvido o *Ecobalance* na Europa.

Com a crise do petróleo na década de 70, a avaliação do consumo energético tornou-se uma necessidade e estudos focalizando o ciclo de combustíveis e energias alternativas foram realizados. Nesta época havia ainda pouco conhecimento sobre a toxicidade e potencialidade de impacto ambiental das substâncias emitidas nos processos, além de falta de informações disponíveis pelas empresas dentro do ciclo de vida avaliado. Com essa complexidade, nos anos subseqüentes a técnica caiu no esquecimento, sendo somente utilizada por alguns grupos como o *Franklin Associates*.

Segundo CURRAN (1996), FAVA *et al.* (1991) e VIGON *et al.* (1993), nos anos 80, com o crescimento da produção de lixo doméstico, principalmente das embalagens e desperdícios de alimentos e incentivado pelo *Green Movement* na Europa a ACV foi ressuscitada e incrementada com os novos conhecimentos ambientais e tecnológicos, ganhando importância em avaliações de impacto ambiental de embalagens. Nesta época a Comissão Europeia criou o Diretório Ambiental (DG X1) e em 1985 o *Liquid Food Container Directive* que obrigava as empresas a monitorar o consumo de recursos naturais e geração de resíduos no processo. Conforme ABCV (2012) muitos estudos foram realizados incluindo a reciclagem, mas com resultados discordantes devido a diferentes bases de dados e inexistência de uma metodologia generalizada, levantando a necessidade de padronização da técnica.

Na década de 90 surgiram movimentos para padronização internacional da análise de ciclo de vida. Cita-se o seminário promovido pelo SETAC em 1990 (metodologia do inventário do ciclo de vida).

Segundo PIRES *et al.* (2011), A aplicação das técnicas de ACV para sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos na Europa começou na década de 90, sendo o primeiro caso relativo à avaliação do gerenciamento de resíduos de embalagens de bebidas na Dinamarca. Este trabalho pioneiro teve como objetivo a determinação das melhores soluções para o descarte de resíduos de embalagens, tais como papel, papelão e vidro.

Em 1997 é editada a primeira norma da ISO da família 14040. No Brasil a tradução é lançada em novembro de 2001. As indústrias passaram a investir em ACV movidas pela busca de selos ambientais, considerando a ACV como uma ferramenta na gestão empresarial.

Mais detalhadamente, SALLES (2009) explica que para um melhor entendimento das questões ambientais que envolvem consumo de recursos, é necessária uma avaliação mais profunda dos produtos e serviços que são consumidos pela sociedade. E para que se possa reduzir o desperdício desses recursos e os impactos ambientais por eles provocados, é preciso um maior conhecimento das emissões decorrentes da extração das matérias-primas para sua fabricação, do seu uso e do seu destino final.

Em outras palavras, CARVALHO *et al.* (2008) concluem que a ACV permite uma operacionalização quantitativa do conceito de sustentabilidade, situando cada prática

sociotécnica em escalas que medem sua contribuição para mudanças climáticas, para geração de resíduos sólidos, etc.

A ferramenta possibilita o levantamento e a avaliação dos potenciais impactos ambientais de um determinado produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida, a partir do seu balanço de massa e de energia, identificando os impactos ambientais ocorridos em cada etapa desse ciclo. Essa visão holística permite a comparação desde a extração das matérias-primas, passando pela produção, transporte e uso, até a disposição final dos produtos analisados. Com essas informações detalhadas, o produtor pode procurar reduzir cada vez mais o impacto do ciclo de vida dos seus produtos e o consumidor pode optar por consumir produtos e serviços que menos impactem negativamente o meio ambiente, tendo uma consciência maior dos seus hábitos e ações. Como todos os atores são responsáveis pela conservação do meio ambiente, uma melhor compreensão do que a sociedade consome pode contribuir para minimizar as emissões para o ar, para a água e para o solo, auxiliando, ainda, a tomada de decisões na elaboração de políticas públicas e empresariais, enriquecendo as discussões com relação às questões ambientais (SALLES, 2009).

Segundo RODRIGUES *et al.* (2008) a importância adquirida pela ACV nos contextos da Gestão Ambiental e da Prevenção da Poluição fez com que a estrutura metodológica que a constitui acabasse por ser padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO), respectivamente na família 14040 da série ISO 14000.

Atualmente estão vigentes no Brasil as seguintes normas técnicas dessa coleção:

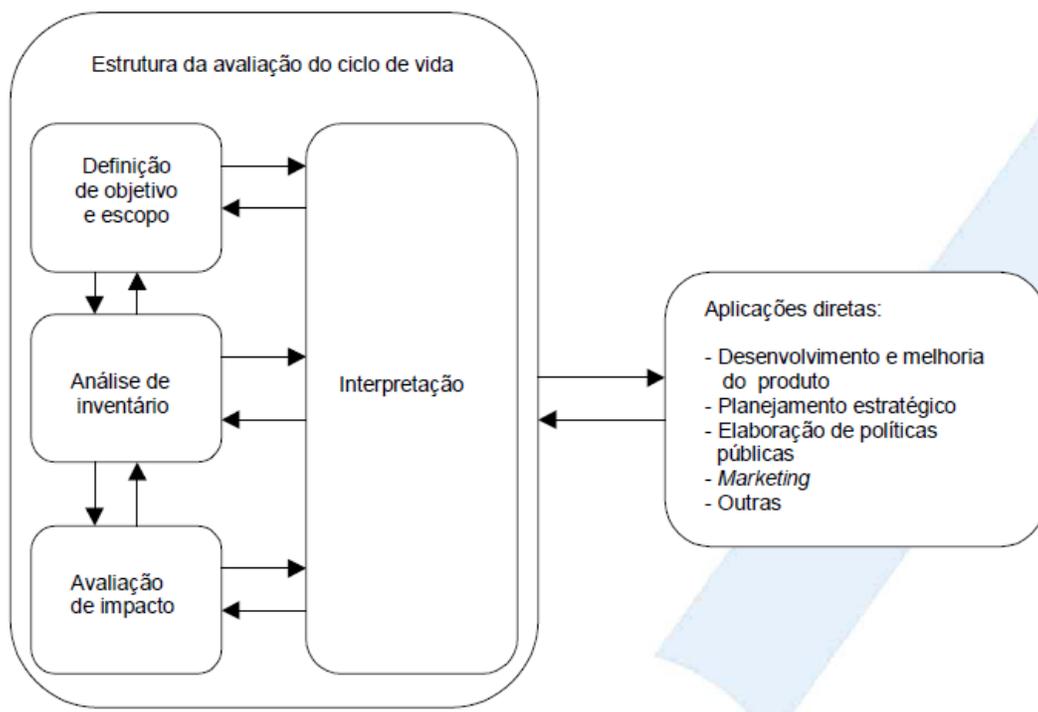
- ABNT NBR ISO 14040:2009 - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.
- ABNT NBR ISO 14044:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) a ACV considera os impactos ambientais ao longo da vida do produto “do berço ao túmulo” desde a extração de matérias-primas até a produção, uso e disposição final. Os aspectos gerais de impactos ambientais a considerar incluem: a redução de recursos naturais, a saúde humana e as consequências ecológicas.

Ainda conforme a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), e mostrado na Figura 2.3, o estudo da ACV de um produto ou serviço consiste na seguinte estrutura:

- a) Objetivo e escopo – Devem ser consistentes com a aplicação pretendida e claramente definidos.
- b) Análise do inventário do ciclo de vida – Período de coleta de dados e de cálculos para análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do estudo. Dados de um ICV são informações que descrevem os fluxos de entrada e saída de um determinado modelo de um sistema técnico, que sejam ambientalmente relevantes.
- c) Avaliação do impacto do ciclo de vida – Nesta etapa verificam-se os resultados obtidos do ICV de um sistema de produto, avaliando a intensidade e o significado das alterações potenciais sobre o meio ambiente associado aos recursos naturais, energia e emissões relacionadas ao produto estudado;
- d) Interpretação do ciclo de vida – Levantam-se os resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto, relacionando o objetivo e escopo para chegar às conclusões e recomendações. Considerando que os resultados da análise do ICV são baseados em uma abordagem relativa, que indica efeitos ambientais potenciais e que não prevê impactos reais sobre pontos finais de categoria, a extrapolação de limites e de margens de segurança ou riscos.

Figura 2.3 – Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida.



Fonte: ABNT (2009).

RODRIGUES *et al.*, (2008) explicam que um ICV compreende um complexo conjunto de inventários dos ciclos de vida dos diversos sistemas e subsistemas técnicos. Ao mesmo tempo, na realização de uma ACV em uma empresa, é necessário ter acesso a informações sobre impactos ambientais em etapas do ciclo de vida que não estão sob o seu controle. O fabricante que deseja avaliar o ciclo de vida de um determinado produto precisa, por exemplo, obter dados e informações sobre impactos na etapa de produção das matérias-primas ou energias utilizadas, processos normalmente conduzidos por fornecedores externos.

Os mesmos autores esclarecem que para que os ICVs sejam elaborados, diversos países desenvolveram bancos de dados para seus inventários, como, por exemplo, o suíço *Ecoinvent*, e o *Life Cycle Inventory Database* americano. Adicionalmente, para apoiar a condução de estudos ambientais de ACV, softwares têm sido desenvolvidos para auxiliar na execução do estudo, principalmente na análise do ICV, permitindo que o processamento dos dados ocorra de forma mais fácil, mais imparcial e mais rápida, além de garantir cálculos de maior confiança, originando relatórios finais de maior consistência. Dessa forma, facilitam o gerenciamento dos dados envolvidos no estudo,

pois disponibilizam bancos de dados, o que minimiza o tempo com relação à coleta dos mesmos. Também realizam avaliação de impacto e interpretação. Essas ferramentas são atualizadas regularmente acompanhando o desenvolvimento dos aspectos gerais da ACV e apresentam os resultados de uma forma facilitada, através de gráficos e tabelas.

Em suma, a metodologia ACV não resolve problemas, mas oferece suporte à tomada de decisão.

À medida que o ímpeto da ACV e do PCV nas políticas de gestão de resíduos é crescente, os tomadores de decisão podem enfrentar conselhos conflitantes sobre os impactos ambientais potenciais de diferentes opções de tratamentos de destinação final (LAZAREVIC *et al.*, 2012).

2.3. SISTEMAS DE GESTÃO

A globalização da economia vem se acentuando, inexoravelmente, ocasionando significativas mudanças na sociedade, comparáveis àquelas que foram produzidas durante a Revolução Industrial há aproximadamente 250 anos.

A globalização do começo do século XVIII estava associada ao trem, ao barco a vapor, à telegrafia transoceânica; agora são as novas tecnologias da informação, as telecomunicações, a indústria eletroeletrônica, a biotecnologia, o genoma humano, o transporte aéreo à velocidade do som, a internet e as transferências internacionais de capital em frações de segundo, a concorrência acirrada entre as empresas de poucos países, que percorrem o mundo em busca de capital, recursos humanos, tecnologia, matérias-primas e mercados, que alimentam o processo global de mudanças na economia.

Esse ambiente é propício ao desenvolvimento da concorrência entre empresas e entre indivíduos, favorável à emergência de um seleto grupo de organizações, eleitas pelo próprio mercado. Diante disso são explícitas as necessidades de um aprimoramento constante na gestão dos empreendimentos, isto é, de se antecipar à tendência do mercado, educar permanentemente o empresariado, a gerência e a mão-de-obra; dispor de estrutura adequada para atender a demanda de bens e serviços de clientes exigentes (IDROGO, 2003).

Esta reflexão é corroborada pela norma ISO 9000 (ABNT, 2005) que afirma que o mercado globalizado, cada vez mais competitivo, tem exigido esforços constantes das organizações, estimulando-as a desenvolver estratégias mais sofisticadas para obter melhoria contínua e, assim, sobreviver à incessante sede de mudança dos clientes e/ou à presença dos concorrentes.

A fim de fazer frente a estes novos desafios, surgiu o conceito de sistema de gestão, que, segundo a mesma ISO 9000 (ABNT, 2005), é um sistema utilizado por uma organização para estabelecer sua política e objetivos, e atingir estes objetivos. Pode incluir diferentes sistemas de gestão, tais como um sistema de gestão da qualidade, um sistema de gestão financeira ou um sistema de gestão ambiental.

A International Organization for Standardization (ISO) - Organização Internacional de Normalização é uma organização com sede em Genebra, na Suíça, cujo objetivo é promover o desenvolvimento de normas, testes e certificação, com o intuito de encorajar o comércio de bens e serviços.

A ISO conta com 158 membros, um de cada país, sendo o Brasil representado pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. A ABNT foi a responsável pela publicação das normas ISO em português (CUNHA e ALVES, 2008).

Os sistemas de GCV utilizam, conforme recomendação de UNEP (2007) o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), em linha com as normas ISO 9001 e 14001, que estabelecem, respectivamente, requisitos para a certificação de sistemas de gestão da qualidade e sistemas de gestão ambiental.

2.3.1. SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

Segundo a ISO 9000 (ABNT, 2005) qualidade é o grau no qual um conjunto de características (propriedade diferenciadora) inerentes satisfaz a requisitos (necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente, de forma implícita ou obrigatória).

A mesma norma define sistema de gestão da qualidade com sendo um sistema de gestão para dirigir e controlar uma organização (grupo de instalações e pessoas com um conjunto de responsabilidades, autoridades e relações), no que diz respeito à qualidade.

A gestão da qualidade se constitui num corpo de conhecimentos construído a partir de uma base conceitual proveniente de áreas como estatística, planejamento, estratégia e da própria administração. Trata-se de um novo modelo para gerenciar organizações. Assim sendo, possui uma filosofia aliada a ferramentas, que na prática, permitem atingir o objetivo de gerir, com maior eficácia, instituições privadas, públicas e filantrópicas independente de porte e atividade (IDROGO, 2003).

De acordo com PAULISTA e TURRIONI (2008), muitas empresas vem implantando sistemas de gestão da qualidade para se tornarem competitivas, pois assim podem ter um planejamento e fazer um controle dos produtos ou serviços oferecidos, um controle sobre a produção e reduzir perdas com produtos fora da especificação.

Além disso, a presença mais efetiva dos órgãos reguladores tem tornado a implantação de sistema de gestão da qualidade, peça fundamental para garantir o atendimento a todos os requisitos existentes e aos novos que surgem a todo o momento.

A implantação de um sistema de gestão da qualidade é uma decisão estratégica da organização que busca, por meio da aplicação do modelo de gestão da qualidade, identificar os processos do seu negócio, integrá-los e trabalhar para atingir os seus objetivos estratégicos, os objetivos de seus clientes, o atendimento aos requisitos de produtos e outros requisitos aplicáveis, tendo a eficácia e a melhoria contínua como premissas básicas (ABNT, 2005).

Primeiramente, a qualidade era associada ao produto e tornou-se mais abrangente considerando o fornecimento de produtos e serviços, ocorrendo um aumento da oferta e concorrências de praticamente todas as empresas.

O projeto e a implantação de um sistema de gestão da qualidade de uma organização são influenciados por várias necessidades, objetivos específicos, produtos fornecidos, processos empregados, tamanho e estrutura da mesma. (PAULISTA e TURRIONI, 2008).

2.3.2. SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL

Define-se gestão ambiental como o gerenciamento adequado das atividades humanas, para que estas não comprometam a qualidade do meio pelo uso acima da capacidade de suporte deste, ou seja, apresentem viabilidade ambiental. Desta forma,

o sistema de gestão ambiental visa a garantia da conservação da qualidade do ambiente, assim como da proteção da saúde humana, a fim de que as atividades humanas possam ser realizadas pelas futuras gerações mantendo o equilíbrio ambiental (OMETTO e GUELERE FILHO, 2008).

Em 1991, a ISO criou um Grupo Assessor Estratégico sobre Meio Ambiente (*Strategic Advisory Group on Environment – SAGE*), para analisar a necessidade de desenvolvimento de normas internacionais na área do meio ambiente. Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992 (Rio 92), o *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, apoiou a criação de um comitê específico, na ISO, para tratar das questões de gestão ambiental. Em março de 1993, a ISO estabeleceu o Comitê Técnico de Gestão Ambiental, ISO/TC207, para desenvolver uma série de normas internacionais de gestão ambiental, a exemplo do que já vinha sendo feito pelo ISO/TC 196, com a série ISO 9000 de Gestão de Qualidade. Os trabalhos do ISO/TC207 foram realizados no período de 1993 a 1996, quando foram publicadas as primeiras normas da série ISO 14.000 - Gestão Ambiental. No ano anterior ao estabelecimento do ISO/TC207, em 1992, a *British Standards Institution (BSI)* já tinha aprovado a norma BS 7750 para o estabelecimento e padronização de sistemas de gestão ambiental nas empresas, a qual serviu de base para a elaboração da Norma Internacional ISO 14001 Sistemas de Gestão Ambiental (NBR ISO 14001, 2004). (OMETTO e GUELERE FILHO, 2008).

Organizações de todos os tipos estão cada vez mais preocupadas com o atingimento e demonstração de um desempenho ambiental correto, por meio do controle dos impactos de suas atividades, produtos e serviços sobre o meio ambiente, coerente com sua política e seus objetivos ambientais. Agem assim dentro de um contexto de legislação cada vez mais exigente, com desenvolvimento de políticas econômicas e outras medidas, visando adotar a proteção ao meio ambiente e de uma crescente preocupação expressa pelas partes interessadas em relação às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável.

As normas de gestão ambiental têm por objetivo prover as organizações de elementos de um sistema da gestão ambiental eficaz que possam ser integrados a outros requisitos da gestão, e auxiliá-las a alcançar seus objetivos ambientais e econômicos. Não se pretende que estas normas, tais como outras normas, sejam utilizadas para criar barreiras comerciais não-tarifárias, nem para ampliar ou alterar as obrigações legais de uma organização (ABNT, 2004).

2.3.3. SISTEMAS DE GESTÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE

Apesar de não serem considerados no presente estudo, de acordo com UNEP (2007), existe uma tendência geral nas companhias e políticas governamentais em direção a sistemas de gestão integrada, que incluem as questões de segurança e saúde, bem como outros aspectos sociais.

Esta afirmação é compartilhada por FOUREAUX e COSTA (2006), que em seu trabalho opinam que as questões concernentes à segurança do trabalho e à saúde ocupacional têm sido um importante objeto de discussão, buscando a inadmissibilidade da existência de ambientes laborais e processos produtivos que condenem os trabalhadores a sofrerem danos à sua saúde, muitas vezes irreversíveis, ou acidentes que possam gerar lesões que os incapacitem a permanecer no exercício de suas atividades.

O sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho busca garantir a preservação da saúde e a segurança dos trabalhadores no desempenho de suas funções, estabelecendo ações sistemáticas de controle, monitoramento e prevenção de acidentes, além de promover a melhoria contínua por meio da educação e treinamento.

As empresas podem conceber e implantar o sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho usando as diferentes normas e guias no formato de especificações e diretrizes, de acordo com suas necessidades e compatíveis com sua cultura organizacional.

Portanto, a opção pelas normas e diretrizes deve estar comprometida com a busca da melhoria contínua do desempenho da segurança e saúde no trabalho, a fim de eventualmente se obter a certificação do sistema de gestão.

A saúde ocupacional consiste numa proposta interdisciplinar, com base na Higiene Industrial, relacionando ambiente de trabalho ao trabalhador. Incorpora a teoria da multicausalidade, na qual um conjunto de fatores de risco é considerado na produção da doença, avaliada através da clínica médica e de indicadores ambientais e biológicos de exposição e efeito (IDROGO *et al.*, 2008).

Nesse contexto, a Norma “OHSAS 18001 - Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho – Requisitos”, e o documento que a acompanha “OHSAS 18002, Diretrizes para a Implantação da OHSAS 18001”, foram desenvolvidos em resposta à

demanda de clientes por uma norma reconhecida para sistema de gestão da saúde e segurança no trabalho, com base na qual seus sistemas de gestão pudessem ser avaliados e certificados.

A citada norma foi desenvolvida de forma a ser compatível com as normas para sistemas de gestão ISO 9001:2000 (Qualidade) e ISO 14001:2004 (Meio Ambiente), a fim de facilitar a integração dos sistemas de gestão da qualidade, ambiental e da saúde e segurança no trabalho, se assim as organizações o desejarem.

Segundo também IDROGO *et al.* (2008), esta norma OHSAS será revisada ou emendada quando considerado apropriado, bem como revisões serão realizadas quando forem publicadas novas edições da ISO 9001 ou da ISO 14001 para assegurar a continuidade da compatibilidade.

As normas OHSAS - *Occupational Health and Safety Assessment Series*, foram elaboradas pelo “Grupo de Projeto OHSAS”, uma associação internacional formada por organismos normativos nacionais, organismos de certificação e acreditação, institutos de saúde e segurança, associações industriais, organizações consultivas e agências governamentais, secretariadas atualmente pela *British Standard Institution*.

Organizações de todos os tipos estão cada vez mais preocupadas em atingir e demonstrar um sólido desempenho em saúde e segurança no trabalho (SST), por meio do controle de seus riscos de SST, de forma consistente com sua política e objetivos de SST. Elas agem assim dentro de um contexto de legislação cada vez mais exigente, de desenvolvimento de políticas econômicas e de outras medidas que promovam boas práticas de SST, e de uma preocupação crescente, expressa pelas partes interessadas com questões de SST.

Muitas organizações têm efetuado análises críticas ou auditorias de SST, a fim de avaliar seu desempenho nessa área. No entanto, somente essas análises e auditorias podem não ser suficientes para proporcionar a uma organização a garantia de que seu desempenho não apenas atende, mas continuará a atender, aos requisitos legais e de sua política. Para que sejam eficazes, é necessário que esses procedimentos sejam realizados dentro de um sistema de gestão estruturado, que seja integrado na organização.

A Norma OHSAS 18001 destina-se a fornecer às organizações elementos de um sistema de gestão da SST eficaz, que possa ser integrado a outros requisitos de gestão, e auxiliá-las a alcançar objetivos de SST e econômicos. Essa norma, bem

como outras normas internacionais, não se destinam a serem utilizadas para criar barreiras comerciais não-tarifárias, nem para ampliar ou alterar as obrigações legais de uma organização.

A citada Norma especifica requisitos para um sistema de gestão da SST, para capacitar uma organização a desenvolver e implantar uma política e objetivos que levem em consideração requisitos legais e informações sobre os riscos de SST. Além disso, destina-se a ser aplicada a todos os tipos e portes de organizações e a acomodar diferentes condições geográficas, culturais e sociais.

O sucesso do sistema depende do comprometimento de todos os níveis e funções da organização e especialmente da Alta Direção. Um sistema dessa natureza permite a uma organização desenvolver uma política de SST, estabelecer objetivos e processos para atingir os compromettimentos da política, executar ações conforme necessário para melhorar seu desempenho, e demonstrar a conformidade do sistema com os requisitos da Norma OHSAS. A finalidade geral da mesma é apoiar e promover boas práticas de SST, de maneira balanceada com as necessidades socioeconômicas. Convém notar que muitos dos requisitos podem ser abordados simultaneamente ou reapreciados a qualquer momento.

Existe uma importante distinção entre a Norma OHSAS, que descreve os requisitos do sistema de gestão da SST para uma organização e pode ser utilizada para certificação/ registro e/ou para autodeclaração do sistema de gestão da SST de uma organização, e diretrizes não-certificáveis destinadas a fornecer orientação genérica a uma organização para estabelecer, implantar ou melhorar um sistema de gestão da SST. A gestão da SST abrange uma vasta gama de questões, incluindo aquelas com implicações estratégicas e competitivas. A demonstração de um processo bem sucedido de implantação da Norma OHSAS pode ser utilizada por uma organização para assegurar às partes interessadas que ela possui um sistema de gestão da SST apropriado em funcionamento.

Aquelas organizações que necessitam de mais orientações sobre uma gama variada de questões relativas a sistemas de gestão da SST devem se reportar à OHSAS 18002 (OHSAS, 2007).

2.3.4. SISTEMAS DE GESTÃO INTEGRADA

Atualmente, as organizações devem estar preparadas para absorver mudanças culturais, tecnológicas, econômicas e sociais de forma rápida e eficiente em um mercado competitivo, necessitando assim, de uma real e constante evolução nos processos produtivos e administrativos.

Em decorrência da competitividade crescente entre as empresas, a qualidade sob a ótica do cliente passa a ser um fator de sucesso empresarial.

Para sobreviver ao atual ambiente de negócios turbulento e dinâmico as empresas devem ter reações cada vez mais rápidas, sempre direcionando suas ações de forma a manterem-se firmes aos seus objetivos estratégicos.

Nesse sentido, a implantação dos sistemas de gestão integrados objetiva a gestão dos recursos organizacionais de forma eficiente, assumindo papel fundamental para a empresa, independentemente de seu porte. Ressalta-se ainda que uma gestão integrada contribui para o incremento da capacidade de inovação em relação aos seus concorrentes (IDROGO *et al.*, 2008).

Com a crescente pressão para que as organizações racionalizem seus processos de gestão, várias delas vêm na integração dos Sistemas de Gestão uma excelente oportunidade para reduzir custos relacionados, por exemplo, à manutenção de diferentes estruturas de controle de documentos, auditorias, registros, dentre outros. Tais custos e ações, em sua maioria, se sobrepõem e, portanto, acarretam gastos desnecessários.

Pode-se então definir Sistema de Gestão Integrada como a combinação de processos, procedimentos e práticas utilizados em uma organização para implantar suas políticas de gestão, e que pode ser mais eficiente na consecução dos objetivos oriundos delas do que quando há diversos sistemas individuais se sobrepondo.

A integração dos sistemas de gestão pode abranger diversos temas, tais como: qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional, recursos humanos, controle financeiro, responsabilidade social, dentre outros (FOUREAUX e COSTA, 2006).

O estudo de JØRGENSEN (2008) conclui que as empresas com sistemas de gestão certificados devem estender seu foco para toda a cadeia produtiva e fortalecer a colaboração com as partes interessadas, a fim de avançar rumo à implementação de

de sistemas de gestão mais sustentáveis. Adicionalmente, a gestão sustentável deve incluir qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional em um sistema de gestão integrado, e estas áreas devem também ser consideradas em uma perspectiva de ciclo de vida.

Segundo UNEP (2007), até a época do estudo, as dimensões sociais e éticas da sustentabilidade não tiveram a mesma atenção das empresas quanto os aspectos ambientais, uma vez que as primeiras são menos tangíveis. Entretanto, existem exemplos positivos de conexão entre melhorias ambientais e de saúde e segurança do trabalho, mostrando uma tendência geral em empresas e nos governos em direção a Sistemas de Gestão Integrada, que incluem além destas questões, também outros aspectos sociais.

Adicionalmente, UNEP (2007) conclui que a integração de qualidade, saúde, segurança e meio ambiente criou novas oportunidades, tais como redução do uso de recursos, reconhecimento da melhora na imagem corporativa e melhora do relacionamento com as partes interessadas, incluindo comunidades locais, autoridades e organizações não governamentais.

2.4. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei no. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define que resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Adicionalmente, a citada Lei traz o conceito de rejeito, que define como resíduo sólido que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresente outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

A mesma Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, define gerenciamento de resíduos sólidos como o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada

dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei.

Gestão integrada de resíduos sólidos é, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Outro conceito trazido pela citada Lei, apesar de já conhecido nos meios acadêmicos, é o de logística reversa, nela definido como instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

São várias as maneiras de se classificar os resíduos sólidos. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem (IBAM, 2001).

De acordo com a NBR 10004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

Classe I ou Perigosos

São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. Podem ser inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e ou patogênicos.

Classe II A ou Não inertes

São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe III – Inertes.

Classe II B ou Inertes

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. (ABNT, 2004).

2.4.2. TRANSPORTE TERRESTRE DE RESÍDUOS

De acordo com GUSMÃO e DE MARTINI (2009), o transporte rodoviário de produtos perigosos é uma das atividades que merecem maior atenção e preocupação sob o aspecto ambiental, considerando o potencial de risco de acidentes que podem causar e as graves conseqüências ambientais que podem resultar dos mesmos.

O transporte de produtos perigosos inclui a movimentação de resíduos industriais e urbanos de diversos tipos e estados físicos, podendo gerar riscos à saúde ou contaminação de regiões onde os caminhões transitam, entre o terminal de apoio marítimo até o destino final adequado, caso ocorra algum acidente.

A Norma ABNT NBR 13.221:2010 especifica os requisitos para o transporte de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e proteger a saúde pública. Os requisitos gerais para o transporte de resíduos são:

- Deve ser feito por meio de equipamento adequado, obedecendo às regulamentações pertinentes;

- O estado de conservação do equipamento de transporte deve ser tal que, durante o transporte, não permita vazamento ou derramamento do resíduo;
- O resíduo, durante o transporte, deve estar protegido de intempéries, assim como deve estar devidamente acondicionado para evitar o seu espalhamento na via pública ou via férrea;
- Os resíduos não podem ser transportados juntamente com alimentos, medicamentos ou objetos destinados ao uso e/ou consumo humano ou animal, ou com embalagens destinadas a estes fins.

2.4.2.1. TIPOS COMUNS DE VEÍCULOS PARA TRANSPORTE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

- POLIGUINDASTE (para operação com caçambas de 7t e 5m³)

Guindaste de acionamento hidráulico, com capacidade mínima de 7t, montado em chassi de peso bruto total mínimo de 13,5t para içamento e transporte de caixas tipo "Brooks" que acumulam resíduos sólidos. O equipamento assim constituído poderá ser do tipo simples, para transporte de uma caixa de cada vez, , conforme Figura 2.4, ou duplo, para transporte de duas caixas de cada vez.

Figura 2.4 – Caminhão coletor tipo poliguindaste



Fonte: IBAM (2001)

- CAMINHÃO BASCULANTE "TOCO"

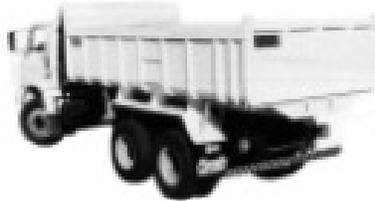
Veículo curto, com apenas dois eixos (daí seu apelido de toco), para remoção de lixo público, entulho e terra, com caçamba de 5 a 8m³ de capacidade.

- CAMINHÃO BASCULANTE TRUCADO

Veículo longo, com três eixos, para remoção de lixo público, entulho e terra, de acordo com Figura 2.5. Sua caçamba deve ter 12m³ de capacidade e ser montada sobre chassi com capacidade para transportar 23t de Peso Bruto Total (PBT).

Em geral, o carregamento desse equipamento é realizado com uma pá carregadeira, para reduzir o esforço humano e aumentar a produtividade.

Figura 2.5 – Caminhão basculante trucado



Fonte: IBAM (2001)

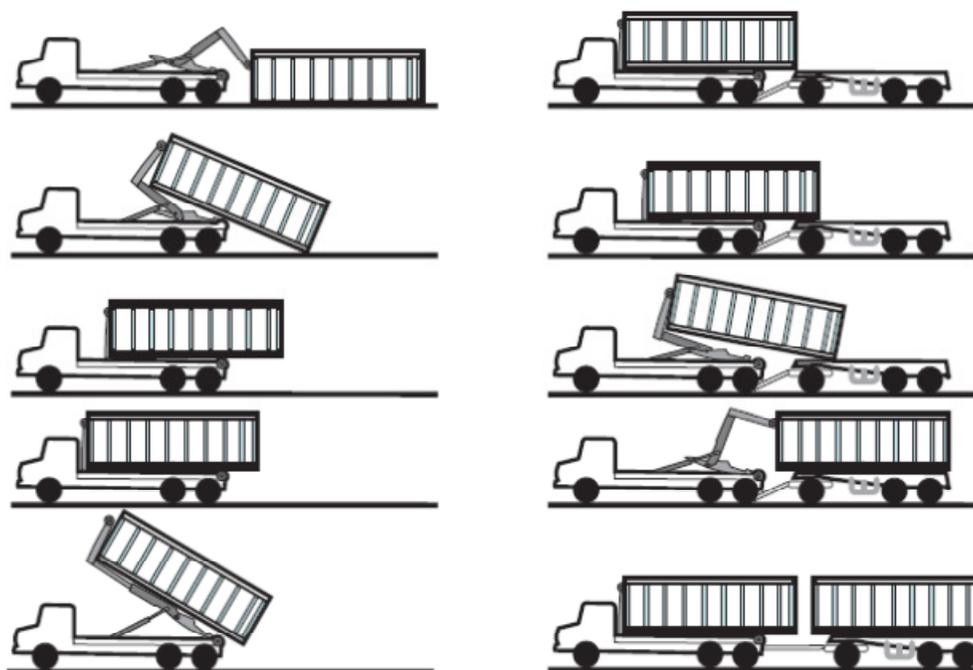
- ROLL-ON/ROLL-OFF

Caminhão coletor de lixo público, domiciliar ou industrial, operando com contêineres estacionários de 10 a 30m³, sem compactação (dependendo do peso específico) ou de 15m³, com compactação. Esse equipamento é dotado de dois elevadores para basculamento de contêineres plásticos de 120, 240 e 360 litros.

Cada veículo pode operar com seis contêineres estacionários para obter boa produtividade.

O equipamento deve ser montado em chassi trucado (três eixos) com capacidade para transportar 23t de PBT, conforme mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Caminhão coletor tipo *Roll-On/Roll-Off*



Fonte: IBAM (2001)

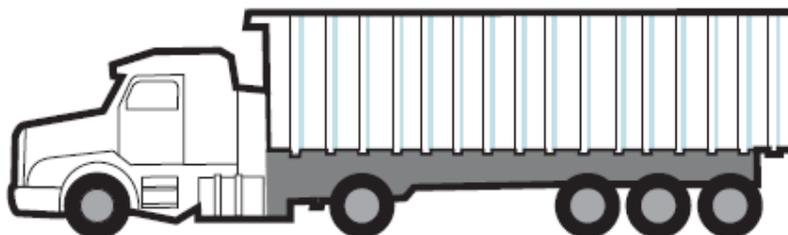
- CARRETA

Semi-reboque basculante com capacidade de 25m³, tracionada por cavalo mecânico (4x2) com força de tração de 45t. É utilizada para transporte de entulho. Seu carregamento é feito por pá carregadeira e a descarga, no destino, pelo basculamento da caçamba.

A denominação "semi-reboque" identifica um equipamento cuja frente precisa ser apoiada em um outro veículo rebocador, chamado cavalo mecânico, constituindo ambos um sistema. O reboque comum não precisa ser apoiado na frente para ser rebocado.

Uma tela ou lona plástica é disposta na parte superior da caçamba para evitar que detritos sejam dispersos nas vias públicas pela ação do vento durante a locomoção do veículo. Um exemplo de carreta é mostrado na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Carreta



Fonte: IBAM (2001)

- COLETA SEPARADA DE RESÍDUOS COMUNS, INFECTANTES E ESPECIAIS

Os resíduos infectantes e especiais devem ser coletados separadamente dos resíduos comuns, devendo ser acondicionados em sacos plásticos brancos e transportados em veículos especiais para coleta de resíduos de serviços de saúde, conforme exemplos da Figura 2.8.

Para que os sacos plásticos contendo resíduos infectantes não venham a se romper, liberando líquidos ou ar contaminados, é necessário utilizar equipamentos de coleta que não possuam compactação e que, por medida de precaução adicional, sejam herméticos ou possuam dispositivos de captação de líquidos. Devem ser providos de dispositivos mecânicos de basculamento de contêineres.

Figura 2.8 – Viaturas para coleta de resíduos de serviços de saúde



Fonte: IBAM (2001)

- COLETOR COMPACTADOR

Equipamento destinado à coleta de resíduos infectantes de serviços de saúde (hospitais, clínicas, postos de saúde). É equipado com carroceria basculante, de formato retangular ou cilíndrico, dotado de dispositivo de basculamento de contêineres na boca de carga, com a característica de ser totalmente estanque, possuir reservatório de chorume e ser menos ruidoso. Exemplo na Figura 2.9.

Deve operar com baixa taxa de compactação, a fim de evitar o rompimento dos sacos plásticos que estão acondicionando os resíduos infectantes.

Somente dever ser descarregado nas unidades de tratamento e disposição final deste tipo de resíduo.

Figura 2.9 – Caminhão compactador para coleta de lixo hospitalar

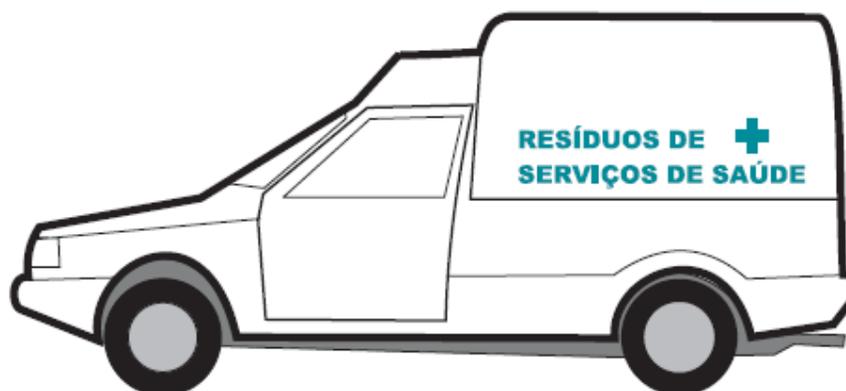


Fonte: IBAM (2001)

- FURGONETA OU FURGÃO

Veículo leve, com cabine para passageiros independente do compartimento de carga, e capacidade para 500 quilos, conforme Figura 2.10. Seu compartimento de carga é revestido com fibra de vidro para evitar o acúmulo de resíduos infectantes nos cantos e nas frestas, facilitando a lavagem e higienização.

Figura 2.10 – Furgão para coleta de resíduos de serviços de saúde



Fonte: IBAM (2001)

Neste trabalho são utilizados caminhões-caçamba para o transporte de resíduos sólidos, caminhões-tanque, para o transporte de lama de perfuração e resíduos oleosos e furgões para o transporte de resíduos infecto-contagiosos. A capacidade é a carga útil máxima, expressa em quilogramas, incluindo o condutor e os passageiros que o veículo pode transportar.

O caminhão-tanque é um veículo que possui um equipamento com bomba que transporta os resíduos líquidos para o interior de seu tanque. Um exemplo deste tipo de veículo é apresentado na Figura 2.11.

Figura 2.11 – Caminhão-tanque usado para o transporte de lodo até o aterro sanitário



Fonte: PIANA (2009)

Neste trabalho, este tipo de veículo é usado para o transporte da lama de perfuração e dos resíduos oleosos que compreende a água oleosa e o óleo usado.

No contexto deste trabalho, as capacidades do caminhão-caçamba e do caminhão-tanque são de 10.000 kg, enquanto que a capacidade do furgão é de 500 kg.

A tabela 2.1 descreve o tipo de veículo e o respectivo resíduo que transporta.

Tabela 2.1 – Tipo de veículo e o respectivo resíduo que pode transportar

Tipo de Veículo	Tipo de Resíduo
Caminhão-tanque	Lama de Perfuração
	Resíduos oleosos (óleo usado e água oleosa)
Caminhão-caçamba	Pilha e bateria
	Bombonas Contaminadas
	Cimento
	Resíduos Contaminados com óleo
	Tambores contaminados
	Lâmpadas Fluorescentes
	Aerosol
	Resíduos não passíveis de reciclagem
	Resíduo alimentar desembarcado
	Lodo residual de esgoto tratado
	Tambores não contaminados
	Cartucho de impressão
	Madeira não contaminada
	Papel e Papelão
	Vidro não contaminado
Metal não contaminado	
Lata de alumínio	
Plástico não contaminado	
Furgão	Resíduos Infecto-contagiosos

Fonte: Elaboração do autor.

2.4.3. TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

É comum proceder ao tratamento de resíduos industriais visando sua reutilização ou, pelo menos, torná-los inertes. Entretanto, em função da diversidade dos mesmos, não existe um processo preestabelecido, sendo sempre necessário realizar uma pesquisa e o desenvolvimento de processos economicamente viáveis (IBAM, 2001).

2.4.3.1. RECICLAGEM/RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Em geral, trata-se de transformar os resíduos em matéria-prima, gerando economias no processo industrial.

Para incentivar a reciclagem e a recuperação dos resíduos, alguns Estados possuem bolsas de resíduos, que são publicações periódicas, gratuitas, onde a indústria coloca os seus resíduos à venda ou para doação (IBAM, 2001).

2.4.3.2. INCINERAÇÃO

A incineração é um processo de queima, na presença de excesso de oxigênio, no qual os materiais à base de carbono são decompostos, desprendendo calor e gerando um resíduo de cinzas. Normalmente, o excesso de oxigênio empregado na incineração é de 10 a 25% acima das necessidades de queima dos resíduos.

Em grandes linhas, um incinerador é um equipamento composto por duas câmaras de combustão onde, na primeira câmara, os resíduos, sólidos e líquidos, são queimados a temperatura variando entre 800 e 1.000 °C, com excesso de oxigênio, e transformados em gases, cinzas e escória. Na segunda câmara, os gases provenientes da combustão inicial são queimados a temperaturas da ordem de 1.200 a 1.400 °C.

Os gases da combustão secundária são rapidamente resfriados para evitar a recomposição das extensas cadeias orgânicas tóxicas e, em seguida, tratados em lavadores, ciclones ou precipitadores eletrostáticos, antes de serem lançados na atmosfera através de uma chaminé.

Como a temperatura de queima dos resíduos não é suficiente para fundir e volatilizar os metais, estes se misturam às cinzas, podendo ser separados destas e recuperados para comercialização.

Para os resíduos tóxicos contendo cloro, fósforo ou enxofre, além de necessitar maior permanência dos gases na câmara (da ordem de dois segundos), são precisos sofisticados sistemas de tratamento para que estes possam ser lançados na atmosfera.

Já os resíduos compostos apenas por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio necessitam somente de um eficiente sistema de remoção do material particulado que é expelido juntamente com os gases da combustão (IBAM, 2001).

2.4.3.3. ATERROS SANITÁRIOS

O aterro sanitário é um método para disposição final dos resíduos sólidos urbanos, sobre terreno natural, através do seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente, em particular à saúde e à segurança pública.

O aterro controlado também é uma forma de se confinar tecnicamente o lixo coletado sem poluir o ambiente externo, porém, sem promover a coleta e o tratamento do chorume e a coleta e a queima do biogás.

2.4.3.4. ATERROS INDUSTRIAIS

Os aterros industriais podem ser classificados nas classes I, II ou III, conforme a periculosidade dos resíduos a serem dispostos, ou seja, os aterros Classe I podem receber resíduos industriais perigosos; os Classe II, resíduos não-inertes; e os Classe III, somente resíduos inertes (IBAM, 2001).

A maior restrição quanto aos aterros, como solução para disposição final de lixo, é sua demanda por grandes extensões de área para sua viabilização operacional e econômica, lembrando que os resíduos permanecem potencialmente perigosos no solo até que possam ser incorporados naturalmente ao meio ambiente (IBAM, 2001).

Um cuidado especial que se deve tomar na operação de aterros industriais é o controle dos resíduos a serem dispostos, pois, em aterros industriais, só podem ser dispostos resíduos quimicamente compatíveis, ou seja, aqueles que não reagem entre si, nem com as águas de chuva infiltradas.

Os fenômenos mais comuns que podem ter origem na mistura de resíduos incompatíveis são geração de calor, fogo ou explosão, produção de fumos e gases tóxicos e inflamáveis, solubilização de substâncias tóxicas e polimerização violenta.

Antes de se dispor os resíduos no aterro, deve-se consultar as listagens de compatibilidade publicadas pelos órgãos de controle ambiental (IBAM, 2001).

2.4.3.5. REUSO

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 de 22 de março de 2011 cita reuso como uma das opções de destino final de resíduos sólidos. Porém, não diferencia o método da reciclagem, nem tão pouco apresenta a definição dos métodos.

2.4.3.6. RECICLAGEM

Segundo IBAM (2001), denomina-se reciclagem a separação de materiais do lixo domiciliar, tais como papéis, plásticos, vidros e metais, com a finalidade de trazê-los de volta à indústria para serem beneficiados.

Esses materiais são novamente transformados em produtos comercializáveis no mercado de consumo.

A criação de políticas ambientais nos países desenvolvidos despertou o interesse da população pela questão dos resíduos sólidos. O aumento da geração *per capita* de lixo, fruto do modelo de alto consumo da sociedade capitalista, começou a preocupar ambientalistas e a população, tanto pelo seu potencial poluidor, quanto pela necessidade permanente de identificação de novos sítios para aterro dos resíduos.

Entre as alternativas para tratamento ou redução dos resíduos sólidos urbanos, a reciclagem é aquela que desperta o maior interesse na população, principalmente por seu forte apelo ambiental.

Os principais benefícios ambientais da reciclagem dos materiais existentes no lixo (plásticos, papéis, metais e vidros) são:

- a economia de matérias-primas não-renováveis;
- a economia de energia nos processos produtivos;

- o aumento da vida útil dos aterros sanitários.

Outro aspecto relevante que deve ser considerado é que a implantação de programas de reciclagem estimula o desenvolvimento de uma maior consciência ambiental e dos princípios de cidadania por parte da população.

O grande desafio para implantação de programas de reciclagem é buscar um modelo que permita a sua auto-sustentabilidade econômica. Os modelos mais tradicionais, implantados em países desenvolvidos, quase sempre são subsidiados pelo poder público e são de difícil aplicação em países em desenvolvimento.

Embora a escassez de recursos dificulte a implantação de programas de reciclagem, algumas municipalidades vêm procurando modelos alternativos adequados às suas condições econômicas (IBAM, 2001).

A escolha do material reciclável a ser separado nas unidades de reciclagem depende sobretudo da demanda da indústria. Todavia, na grande maioria das unidades são separados os seguintes materiais:

- papel e papelão;
- plástico duro (PVC, polietileno de alta densidade, PET);
- plástico filme (polietileno de baixa densidade);
- garrafas inteiras;
- vidro claro, escuro e misto;
- metal ferroso (latas, chaparia etc.);
- metal não-ferroso (alumínio, cobre, chumbo, antimônio etc.)

O mercado de materiais recicláveis no Brasil vem crescendo rapidamente, com índices de recuperação significativos, embora também esteja crescendo o nível de exigência sobre a qualidade do material.

As indústrias que trabalham com matéria-prima reciclada exigem para compra dos materiais três condições básicas:

- escala de produção;
- regularidade no fornecimento;
- qualidade do material.

Assim, a obtenção de materiais classificados corretamente, limpos e conseqüentemente com maior valor agregado facilita a comercialização dos materiais recicláveis obtidos nas usinas.

O preço de venda de materiais e o escoamento da produção dependem das indústrias recicladoras presentes na área de influência da usina.

Os preços praticados pelo mercado variam muito, sofrendo influência direta do preço da matéria-prima virgem.

Além de procurar sempre por materiais limpos, algumas cooperativas desenvolvem trabalho visando ao beneficiamento de materiais recicláveis para agregar valor ao produto e permitir sua comercialização direta às indústrias, eliminando agentes intermediários. Essas tarefas envolvem, pelo menos, a separação entre os diversos tipos e o enfardamento de papéis e papelão, latas de alumínio e plástico duro. Também é fundamental haver um local para acumulação de todos os materiais, de modo a racionalizar o frete até o local de sua industrialização.

Para incentivar a reciclagem e a recuperação dos resíduos, alguns estados possuem bolsas de resíduos, que são publicações periódicas, gratuitas, onde a indústria coloca os seus resíduos à venda ou para doação.

2.4.3.7. COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS EM FORNOS DE PRODUÇÃO DE CIMENTO

O termo coprocessamento, já consagrado no Brasil entre os setores que o utilizam, expressa a integração de dois processos em um, mais especificamente a utilização da manufatura industrial de um produto a altas temperaturas em fornos ou caldeiras, para a destruição de resíduos industriais. No caso particular da indústria de cimento, e também neste trabalho, coprocessamento significa a produção de clínquer concomitante à queima de resíduos industriais no sistema forno.

O clínquer é o principal item na composição de cimentos portland, sendo a fonte de silicato tricálcico e silicato dicálcico. Estes compostos trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação.

A produção do clínquer é o núcleo do processo de fabricação de cimento, sendo a etapa mais complexa e crítica em termos de qualidade e custo. As matéria-primas são abundantemente encontradas em jazidas de diversas partes do planeta, sendo compostas de 80% a 95% de calcário, 5% a 20% de argila e pequenas quantidades de minério de ferro.

A energia térmica gerada pelo combustível, utilizada para secagem, aquecimento e calcinação de matérias-primas, constitui 90% do total de energia consumida no processo de manufatura de cimento.

Os avanços tecnológicos da produção e a substituição de combustíveis fósseis e matérias-primas naturais por materiais alternativos na indústria de cimento foram impulsionados pela busca da redução do consumo de energia térmica e elétrica, e da racionalização do uso de recursos naturais renováveis. O apelo é forçosamente econômico, uma vez que o combustível responde por 1/3 do custo da produção do cimento.

No Brasil o crescimento mais acelerado na tecnologia de uso de combustíveis alternativos na produção de cimento deu-se entre o fim dos anos 70 e o início dos anos 80, como reflexo da crise mundial de petróleo, cujos derivados sofreram fortes e sucessivos aumentos de preços. Na época o Governo Federal convocou os segmentos produtivos do País, iniciando pela indústria cimenteira, a assumir um compromisso no sentido de reduzir o consumo energético e promover a substituição destes derivados. Em dezembro de 1984 as empresas cimenteiras tinham alcançado o índice aproximado de substituição de 90% do óleo combustível por combustíveis alternativos nacionais, sendo os principais dentre eles o carvão mineral e o carvão vegetal, mas também incluíam-se o gás natural, o coque de petróleo, os pneus usados, a palha de arroz, o cavaco de madeira e lenha, a casca de babaçu e de dendê.

Com o passar dos anos, surgiram várias opções de combustíveis alternativos menos nobres, segundo parâmetros de combustão, porém, mais competitivas do ponto de vista econômico.

Os fornos de clínquer são licenciados para produzir cimento, porém, quando se candidatam ao coprocessamento de resíduos, o entendimento dos órgãos ambientais é de que pretendem assumir uma atividade adicional. Os fornos têm, então, que

atender ao limite de emissão de material particulado, bem como apresentar resultados de testes de queima.

A conexão entre os geradores de resíduos e as fábricas de cimento é feita em geral por empresas de gerenciamento de resíduos, que devem possuir licença ambiental para as operações de manuseio, pré-tratamento e transporte dos mesmos. Estas empresas são responsáveis pelo fornecimento, instalações de recebimento e armazenagem e injeção do resíduo no forno.

As características e propriedades dos resíduos, tais como poder calorífico, umidade, viscosidade, materiais voláteis, ponto de fulgor, teores de cinzas, metais pesados, enxofre e sólidos em suspensão, são sempre analisadas, a fim de garantir as características físico-químicas do processo e verificar o atendimento às especificações estabelecidas pela licença ambiental de queima da fábrica.

Em função dos resultados das análises, os resíduos podem ser rejeitados, fornecidos em seu estado natural, ou passar por um pré-tratamento físico-químico, como por exemplo destilação, fracionamento, filtração, trituração, moagem, maceração. Neste caso, são geralmente misturados a outros resíduos de diversas procedências para formar o chamado *blend*. A instalação de pré-tratamento de resíduos é, por esta razão, chamada de unidade de *blending* ou blendagem.

As distintas correntes de resíduos são rigorosamente caracterizadas e pré-selecionadas. O produtor do *blend* mantém controle analítico de todas as remessas de resíduos para verificar sua adequação às especificações antes de serem utilizados no processo.

O *blend* supera, do ponto de vista técnico e ambiental, os problemas associados à destinação de pequenas quantidades de resíduos geradas, além de resolver o problema da heterogeneidade dos resíduos. A preparação do *blend* a partir de diferentes resíduos tem a vantagem de poder compor um combustível alternativo com propriedades mais homogêneas, propiciando uma combustão mais estável no forno alternativo. No entanto, é importante que haja um abastecimento regular dos resíduos a serem coprocessados, seja individualmente ou como *blend*, evitando-se assim sua destruição em testes de queima e minimizando os riscos da queima ocorrer em desacordo com os parâmetros da licença ambiental.

Apesar da norma NBR 10004 (ABNT, 2004) definir que os resíduos sólidos podem estar no estado sólido e semi-sólido, incluindo-se neste caso o líquido e o pastoso, o estado da matéria tem efeitos enormes nas operações de manuseio, tratamento, transporte e armazenagem; na forma e local de injeção no forno e no perfil da chama durante a combustão.

O coprocessamento de resíduos industriais como substitutos parciais de combustíveis fósseis já é uma realidade na indústria de cimento no Brasil, desde o fim dos anos 90. Com a substituição de 15% do combustível por resíduos, indústrias locais economizam entre US\$ 430 mil e US\$ 800 mil por ano (MARINGOLO, 2001).

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 03/08 mencionava o termo “coprocessamento (e ações similares)”. Já a Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 01/11, que substituiu a anterior, apenas cita o coprocessamento como opção de destinação final. Por outro lado, na Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11, que apresenta os resultados consolidados das informações sobre geração e destinação final dos resíduos sólidos dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo referentes ao ano de 2009, são mostradas informações de destinação de resíduos tanto para coprocessamento quanto para *blend* de resíduos, sem entretanto nenhuma explicação ou distinção sobre um processo e outro. Informações da empresa estudada são de que o IBAMA não questiona se a informação de destinação final é para blendagem, coprocessamento, ou ambos, mesmo que haja o entendimento de que o primeiro processo tenha na realidade, o objetivo de produzir matéria-prima para o coprocessamento.

2.4.4. GERAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O aquecimento global como consequência das emissões de gases de efeito estufa (GEE) induzidas pelo homem é percebido como uma grande preocupação ambiental, face à ameaça ao bem-estar futuro. Os cientistas prevêem que, até 2100, a temperatura média global do ar na superfície terrestre vai aumentar de 1,4 a 5,8 °C, levando a grandes perturbações para os assentamentos humanos e ecossistemas naturais (BENITEZ e OBERSTEINER, 2006).

O tratamento e destinação de resíduos sólidos municipais, industriais e outros resíduos sólidos produz quantidades significativas de metano (CH₄), dióxido de carbono biogênico (CO₂) e compostos orgânicos voláteis não-metano (COV-NM), bem como quantidades menores de óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO). As instalações de destinação de resíduos sólidos contribuem com aproximadamente 3 a 4 por cento das emissões anuais globais antrópicas de gases de efeito estufa (IPCC, 2006).

Em muitos países industrializados, a gestão dos resíduos mudou muito ao longo da última década. Políticas de minimização da geração de resíduos, bem como reciclagem e reutilização foram introduzidas para reduzir a quantidade de resíduos gerados, e cada vez mais, práticas alternativas de gestão de resíduos sólidos vem sendo implementadas para reduzir os impactos ambientais da gestão de resíduos. Além disso, a recuperação de gás de aterro tem se tornado mais comum como uma medida para reduzir as emissões de gases de efeito estufa oriundas de instalações de destinação de resíduos sólidos (IPCC, 2006).

O trabalho de PIRES *et al.* (2011), que apresenta um estudo baseado na ACV para avaliar diferentes alternativas para gerenciamento de resíduos sólidos em Portugal, incluindo coleta, transporte, triagem, reciclagem e tratamento mecânico e biológico de resíduos por meio de tratamento aeróbico e aterro, conclui que a reciclagem contribui substancialmente para reduzir o potencial de aquecimento global em todas as alternativas estudadas.

2.4.5. PROJETO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO (PCP)

Trata-se de um conjunto de procedimentos, tanto a bordo, nas unidades marítimas e embarcações inseridas nos processos de licenciamento ambiental, quanto fora dessas unidades e embarcações, de modo a buscar a minimização da poluição advinda da geração de resíduos a bordo, de sua disposição em terra, do descarte de rejeitos no mar e das emissões atmosféricas.

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 de 22 de março de 2011 consubstancia as diretrizes da Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG), da Diretoria de Licenciamento Ambiental (DILIC), do IBAMA, para implementação do Projeto de Controle da Poluição (PCP) exigido nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e

gás, bem como para apresentação das metas desse projeto e dos respectivos relatórios de implementação.

O PCP configura, assim, uma das medidas mitigadoras de impactos exigidas como condicionante de licença ambiental desses empreendimentos, no que concerne às três atividades passíveis de serem submetidas a processo de licenciamento ambiental na CGPEG (Pesquisa Sísmica; Perfuração; Produção e Escoamento).

Os objetivos fundamentais do PCP, segundo a Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 de 22 de março de 2011, são:

1. Gerar o mínimo possível de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas.
2. Reciclar o máximo possível dos resíduos desembarcados.
3. Proceder à disposição final adequada, isto é, de acordo com as normas legais vigentes, de todos os resíduos desembarcados e não reciclados.
4. Buscar procedimentos que minimizem a poluição gerada pelas emissões atmosféricas e pelos resíduos sólidos e efluentes líquidos passíveis de descarte no mar; e
5. Aprimorar continuamente os procedimentos citados nos itens anteriores.

Verifica-se, através do item 2 acima, que não há ainda, nenhuma exigência ou indicação do IBAMA, para que sejam avaliadas as possibilidades de destinação final dos resíduos à luz do pensamento de ciclo de vida. Entretanto, em outros trechos da citada Nota Técnica evidencia-se esta filosofia:

- No conceito de melhoria contínua, que é requisito fundamental da GCV, explicitado, tanto no item 5 acima, quanto na afirmação de que para os resíduos sólidos e efluentes líquidos passíveis de descarte no mar, bem como para as emissões atmosféricas, a empresa deve buscar melhorias contínuas nos processos de gestão, sem necessidade, neste momento, de estabelecimento de metas. Por outro lado, para os demais resíduos (aqueles a serem desembarcados), a empresa deve estabelecer metas em seus empreendimentos e estas devem estar coerentes com os objetivos e resultados esperados.

- Visão integrada e sinérgica das dinâmicas e reflexos socioeconômicos e ambientais da disposição final dos resíduos do conjunto de empreendimentos marítimos da própria empresa, frente à disponibilidade e capacidade de suporte dos serviços presentes na Região. Essa visão deve englobar, também, os mesmos efeitos causados na Região pelos resíduos dos empreendimentos marítimos das demais empresas, isto quando a CGPEG disponibilizar tais informações.
- A empresa deve primar para que cada resíduo seja disposto o mais próximo possível do local de desembarque, de forma a que haja menor dispêndio de energia de transporte, bem como redução de riscos de acidentes ambientais associados a esse transporte.

Além disso, para o estabelecimento dessas Metas, deve ser observada a seguinte escala de prioridades:

- Devolução ao fabricante; reuso; reciclagem; acondicionamento; e re-refino.
- Outras formas de disposição final (coprocessamento, descontaminação ou atividades similares; aterro sanitário; aterro industrial; incineração em terra).

2.4.6. ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DE RESÍDUOS

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 de 22 de março de 2011 informa que a CGPEG – Coordenação Geral de Petróleo e Gás, considera armazenamento temporário a situação intermediária entre a geração e a disposição final. Esse armazenamento pode ser realizado por: unidade marítima, embarcação, base de apoio, terminal portuário ou empresa que faz a guarda de resíduos para que, posteriormente, sejam dispostos por outra empresa. Ressalta também que a CGPEG recomenda que, em unidade marítima e embarcação, seja armazenada a menor quantidade possível de resíduos, durante o menor tempo possível.

Por outro lado, a CGPEG não considera armazenamento temporário a situação dos resíduos que aguardam a disposição final na mesma empresa onde foram armazenados. Nesse caso, deve-se considerar que os resíduos receberam a respectiva disposição final assim que entraram na empresa.

As atividades de armazenamento temporário e de disposição final devem ser realizadas por empresa ou cooperativa ou outro tipo de organização constituída legalmente para o serviço a que se propõe, com licença ambiental ou autorização correspondente, a depender das determinações dos respectivos órgãos ambientais dos Estados onde ocorre o serviço em questão (de armazenamento temporário ou de disposição final).

No município onde há licenciamento ambiental para as atividades de armazenamento temporário e de disposição final, pode ser utilizada empresa ou cooperativa ou outro tipo de organização constituída legalmente para o devido serviço, com licença ambiental municipal ou autorização correspondente, a depender das determinações do respectivo órgão ambiental municipal.

2.5. DA LOGÍSTICA REVERSA À LOGÍSTICA AMBIENTAL

A logística foi desenvolvida inicialmente como uma atividade militar e pode-se verificar que todos os exércitos vitoriosos sempre utilizaram bons sistemas de suprimentos e estratégias de destruição dos canais de abastecimento inimigos. É certamente uma das áreas que mais vêm recebendo atenção dos gerentes de operações, em vários ramos de atividade econômica, principalmente devido ao aumento das transações internacionais provocado pela globalização. As atividades que acontecem entre o local e o momento da produção e o local e o momento do consumo, tais como embalagem, transporte, armazenagem, etc., tornaram-se decisivas para o desempenho das empresas. Mais ainda, expandiu-se enormemente o fluxo de materiais e de informações também no sentido reverso, isto é, do local de consumo para o local de produção. Por estas razões, a utilização de técnicas modernas de logística não só permitem a sobrevivência de empresas, mas são primordiais para melhorar suas posições no mercado. A vantagem competitiva é buscada desde a obtenção de matérias-primas até a distribuição de produtos acabados, passando pela fabricação e armazenagem durante a cadeia de suprimentos (SIMÕES, 2002).

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2005), se define Gestão da Logística como a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla, de maneira eficiente, o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associadas, cobrindo desde o ponto de

origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

Há décadas, os gerentes de logística de algumas empresas lidam com o movimento de mercadorias do consumidor para o produtor, por meio de um canal de distribuição, devido à necessidade de assistência técnica, ou de devolução de produtos pelas mais variadas razões (POHLEN e FARRIS, 1992).

Surgiu então o termo Logística Reversa, para designar todas as atividades referentes ao fluxo de distribuição inverso ao tradicional (KOPICKI *et al.*, 1993).

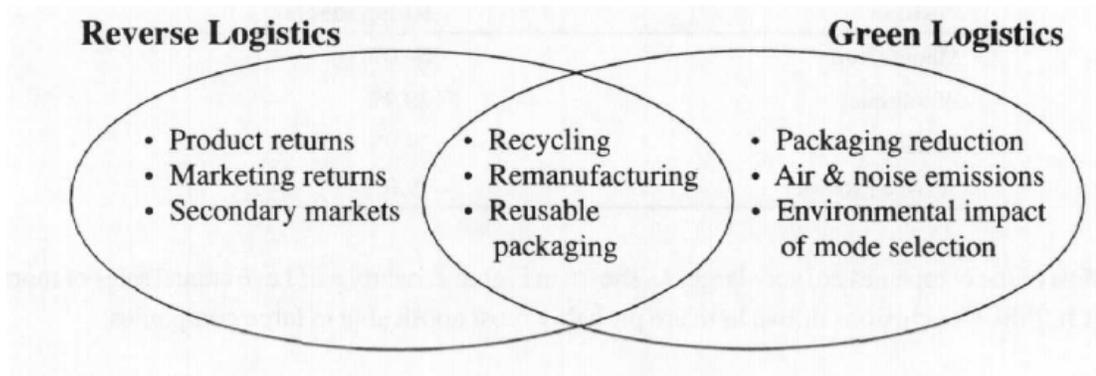
O Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2005) considera a Logística Reversa como parte integrante do próprio gerenciamento logístico habitual, pois ele destaca o fato de que gerenciar uma cadeia de suprimentos segundo as necessidades dos clientes significa planejar, implantar e controlar eficientemente tanto o fluxo direto quanto o fluxo reverso de mercadorias, serviços e informações. Sua definição para a logística reversa é a seguinte: “Um segmento especializado da logística que enfoca o movimento e o gerenciamento de produtos e bens depois da venda e depois da entrega ao cliente. Inclui o retorno de produtos para reparo e/ou crédito”.

Segundo ROGERS e TIBBEN-LEMBKE (2001), durante os anos 80 o objetivo da logística reversa era limitado ao movimento de material em sentido contrário ao fluxo primário, do cliente ao produtor. Entretanto, apesar deste ser o conceito original, ele passou a ser utilizado como um termo genérico para definir esforços em reduzir os impactos ambientais da cadeia de suprimento.

Segundo os mesmos autores, estas atividades podem ser mais adequadamente incluídas nos conceitos de “logística verde” ou “logística ambiental”, que eles definem como “esforços para medir e minimizar o impacto ambiental das atividades de logística”. Dentro desta lógica, seu artigo apresenta a logística reversa como “O processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente e eficaz o fluxo de matéria-prima, de inventário em processo, de bens acabados e informações relacionadas, do ponto de consumo ao ponto de origem, com o propósito de recapturar ou criar valor ou de dar disposição apropriada”.

Apesar da distinção, ROGERS e TIBBEN-LEMBKE (2001) apresentam áreas comuns à logística reversa e à logística ambiental, conforme mostrado na figura 2.12:

Figura 2.12 – Comparação entre Logística Reversa e Logística Verde



Fonte: ROGERS e TIBBEN-LEMBKE (2001)

O Grupo Europeu de Estudos sobre a Logística Reversa – REVLOG – define a logística reversa de maneira mais abrangente, como “todas as atividades logísticas para coletar, desmontar e processar produtos usados, partes de produtos e/ou materiais para assegurar uma recuperação sustentável (ambientalmente amigável)”. (REVLOG, 2006).

Já LEITE (2003) apresenta o seguinte conceito: “Entendemos a logística reversa como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo das informações logísticas correspondentes ao retorno de bens de pós-venda e de pós-consumo, ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos”.

XAVIER (2004) também separa claramente os termos logística reversa e logística ambiental, porém menciona a proposta da logística reversa tendo como meta um propósito mais amplo e nobre, justificando a reciclagem, redução de insumos e reaproveitamento de produtos pós-consumo e pós-venda.

No trabalho de SIMÕES (2002) as questões ambientais são inseridas na chamada “quinta revolução logística”, quando “As atividades logísticas se deparam com novas exigências em seus canais de distribuição, o aparecimento de novas demandas por serviços logísticos que atendam a requisitos ambientais”.

TSOULFAS e PAPPIS, (2005) concluem que as indústrias estão cada vez mais sendo responsabilizadas pelos custos de tratamento da poluição gerada por elas e pelos danos a longo prazo à saúde dos seres humanos e do ecossistema. Além disso, reforçam que se o produtor não for responsável pelo reuso, reciclagem ou disposição final, haverá pouco incentivo em projetar produtos que sejam duráveis, facilmente desmontáveis para reciclagem ou biodegradáveis.

Por outro lado, ROGERS e TIBBEN-LEMBKE (2001) concluem em seu artigo que muitas empresas se deram conta de que a logística reversa é uma parte importante e freqüentemente estratégica de suas missões de negócio, não só gerando economia significativa como também incrementando vendas e tornando-as mais ágeis.

Seja como for, o crescimento das preocupações como a sustentabilidade ambiental ampliou bastante o espaço da Logística Reversa. Vários autores abordam a Logística Reversa por meio da integração entre as questões ambientais e o gerenciamento da reciclagem: GUNGOR e GUPTA (1999), CARSTEN e MEYER (1999), SPENGLER *et al.* (1997), AYRES *et al.* (1997) e BRENNAN *et al.* (1994). Dentre os fatores que levam a esta integração, FULLER e ALLEN (1995) apresentam cinco:

- Fatores econômicos: relacionam-se com o custo da produção, por necessidade de adaptação dos produtos e processos para evitar ou diminuir o impacto ao meio ambiente;
- Fatores governamentais: relacionam-se à legislação e à política de meio ambiente;
- Fatores de Responsabilidade Corporativa: relacionam-se ao comprometimento das empresas fabricantes com a coleta de seus produtos ao final da vida útil;
- Fatores tecnológicos: ligam-se aos avanços tecnológicos da reciclagem e projetos de produtos com finalidade de reaproveitamento após descarte pela sociedade;
- Fatores logísticos: relacionam-se aos aspectos logísticos da cadeia reversa, como por exemplo, a coleta de produtos.

SPENGLER *et al.* (1997) observam que os custos ambientais relacionados a todo o ciclo de vida do produto têm um peso importante nos custos totais de produção. Assim, a reciclagem de produtos está se tornando um ponto importante para o

planejamento e controle do sistema produtivo da empresa. Autores como MAHADEVAN *et al.* (2003), HU *et al.* (2002), FLEISCHMANN *et al.* (1997) e LAAN e SALOMON (1997) apresentam análises econômicas para a recuperação de produtos. JOHNSON e WANG (1995) desenvolveram uma metodologia que pode ser utilizada para identificar o custo efetivo da recuperação de produtos. De uma forma geral, todos os autores enfatizam ainda que a atividade de reciclagem oferece ganhos para a empresa, ao mesmo tempo que associa a imagem corporativa com a preservação do meio ambiente.

Segundo (UBEDA *et al.* (2011), no atual ambiente altamente competitivo, as questões relativas à logística ambiental ou verde estão ganhando cada vez mais interesse, desde os anos 1990, quando o tema passou a ser considerado importante do ponto de vista econômico e social.

DEKKER *et al.* (2012) concluem que o crescimento econômico mundial do século passado deu origem a uma gama enorme de produtos de consumo, enquanto a globalização tem levado a grandes fluxos de mercadorias em todo o mundo. A produção, transporte, armazenagem e consumo de todos estes produtos, no entanto, têm criado grandes problemas ambientais. Hoje, o aquecimento global, criado pelas emissões em grande escala de gases de efeito estufa, é a principal preocupação ambiental.

Assim sendo, conclui-se que o termo Logística Ambiental ou Verde engloba de maneira adequada o conceito atual, no qual as empresas necessitam lidar com o fluxo direto e reverso de informações e materiais, levando em conta as demandas ambientais tanto de legisladores como da sociedade civil.

2.5.1. A LOGÍSTICA AMBIENTAL NAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO OFFSHORE

As operações de perfuração *offshore*, representam parte importante das operações de exploração de hidrocarbonetos, onde as empresas operadoras buscam as reservas que posteriormente poderão entrar em produção, disponibilizando produtos que têm uma grande variedade de utilidades no mundo moderno.

Estas operações consistem basicamente na perfuração de poços no fundo do mar, e são executadas por plataformas ou sondas de perfuração *offshore*, que são de diferentes tipos em função de características geográficas, como por exemplo, a lâmina d'água do local onde será perfurado o poço. As sondas são geralmente contratadas para estes serviços pelas companhias operadoras.

As operações de perfuração *offshore* recebem materiais, equipamentos, combustíveis e mantimentos por via marítima, através de embarcações conhecidas como “barcos de apoio”, que são abastecidas em terra em terminais marítimos chamados de “bases de apoio”. Em geral são utilizados pelo menos dois barcos de apoio por sonda de perfuração, ficando o primeiro na base, enquanto o segundo está próximo da sonda.

Os citados barcos de apoio, além de abastecer a sonda com os bens necessários ao suporte da operação, são também responsáveis por levar para a base os resíduos gerados, de onde são então encaminhados para seus destinos finais.

O transporte de pessoas para as sondas é feito geralmente por via aérea, através de helicópteros, com o embarque de passageiros desde aeroportos em terra e desembarque em helipontos nas sondas, e vice-versa. Esta operação é frequente e regular, já que o trabalho em turnos nas sondas exige que trabalhadores constantemente estejam em regime de revezamento. O mesmo helicóptero que leva passageiros para as sondas retorna com outros para terra.

Em função dos custos elevados das operações em questão, conforme apresentados anteriormente, os custos para a gestão dos resíduos acabam sendo considerados desprezíveis, e conseqüentemente não costumam ser levados em conta quaisquer possíveis benefícios financeiros obtidos através de uma gestão eficiente e eficaz dos mesmos, e seu possível reuso ou venda para outra necessidade. Informações da Empresa estudada são de que os custos totais com Segurança, Saúde e Meio Ambiente em operações de perfuração exploratória *offshore* representam entre 4% e 10% dos valores totais gastos por poço nas mesmas. Soma-se a este o fato de que estas operações ocorrem num período de tempo determinado, variável principalmente em função do número de poços a perfurar, apresentando então pouca atratividade para uma busca por minimização dos custos relativos à gestão dos resíduos.

A experiência na citada Empresa é de que no planejamento e contratação das estruturas logísticas de apoio às operações em questão não eram consideradas

possíveis oportunidades de redução de custos ou geração de receitas financeiras, através do reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos. A gestão destes resíduos vinha sendo feita a *posteriori*, sob responsabilidade da área de meio ambiente, não havendo considerações sobre este tema na fase de planejamento. (CARVALHO *et al.*, 2008).

2.6. LICENCIAMENTO AMBIENTAL DAS OPERAÇÕES DE PERFURAÇÃO OFFSHORE

Atualmente no Brasil o licenciamento ambiental das operações em estudo exige que as companhias operadoras tenham uma gestão controlada de seus resíduos, com o total conhecimento de seus destinos finais, que devem ser aprovados de acordo com a legislação em vigor. São inclusive valorizadas a minimização, recuperação e reciclagem dos mesmos (IBAMA, 2006).

O IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, é o órgão ambiental federal, responsável pelo licenciamento ambiental deste tipo de operação. Já as instalações utilizadas para tratamento, transporte e destinação dos resíduos em terra devem ser licenciadas pelos respectivos órgãos ambientais estaduais (CONAMA, 1997).

Na Tabela 2.2 pode-se observar o Acompanhamento de Resíduos exigido pelo IBAMA para operações de perfuração exploratória *offshore*. No mesmo verifica-se que absolutamente todos os resíduos devem ser controlados, do destino até à disposição final.

modelo de vida atual. A emissão de GEEs, principalmente do dióxido de carbono, provoca o aquecimento global e conseqüentemente as mudanças climáticas (IPCC, 2006).

Apesar de que parte dos gases do efeito estufa seja também produzida pela natureza, o acréscimo de suas emissões, derivado da atividade industrial, conduz ao desequilíbrio da natural sustentabilidade (COSTA, 2009).

Por outro lado, processos que causam emissões de gases de efeito estufa beneficiam os seres humanos através da disponibilização de bens de consumo e serviços (HERTWICH e PETERS, 2009).

Em qualquer dia típico, nos envolvemos em uma ampla gama de atividades que são suportadas por emissões de CO₂, seja direta ou indiretamente. Quando dirigimos nossos carros para trabalhar, CO₂ sai do escapamento dos veículos, produto resultante da reação da gasolina com o oxigênio atmosférico no interior do motor de combustão interna. Assim, quanto CO₂ foi liberado para a atmosfera para nos levar para trabalhar esta manhã? Contar apenas o CO₂ que sai do escapamento deixaria de considerar o fato de que CO₂ foi emitido para extrair, refinar e transportar a gasolina para nós. O automóvel é composto de aço, borracha, alumínio e plástico: CO₂ foi liberado para fornecer a energia necessária para a fabricação de cada um destes materiais. Além disso, as fábricas que produziram o automóvel têm máquinas de vários tipos, e a energia necessária para produzir estas máquinas provavelmente gerou também emissões de CO₂. Além disso, os trabalhadores das fábricas que produziram todas essas coisas podem ter dirigido seus carros para ir trabalhar. Que parte de suas emissões de CO₂ foram geradas para facilitar nosso trajeto ao trabalho pela manhã? (CALDEIRA e DAVIES, 2011).

Para medir o impacto das atividades humanas sobre as emissões de gases do efeito estufa, surgiu na literatura e na mídia em geral o termo “pegada de carbono”, que é a quantidade de dióxido de carbono equivalente liberada na realização de cada atividade (ICB, 2012).

O conceito de “pegada de carbono” capta o interesse de empresas, consumidores e dos decisores políticos: Investidores acompanham a pegada de carbono de suas carteiras como um indicador dos riscos de investimento, gerentes de compras estão curiosos sobre a pegada de carbono de suas cadeias de suprimentos, e aos

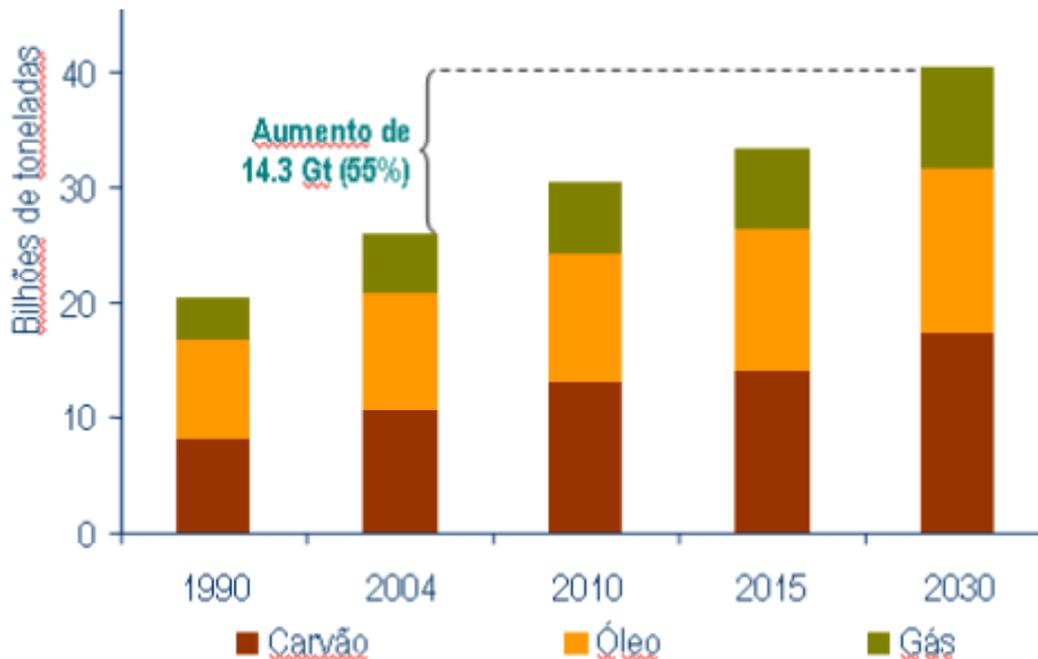
consumidores cada vez mais se oferece produtos com rótulos sobre as emissões de carbono geradas em sua produção. Enfim, a pegada de carbono tornou-se popular, apesar do termo ser impróprio, já que se refere às emissões acumuladas de CO₂, por exemplo, através de uma cadeia de fornecimento ou através do ciclo de vida de um produto, e não algum tipo de medida de área, sendo mais apropriadamente calculada utilizando avaliação de ciclo de vida (HERTWICH e PETERS, 2009).

O estudo de BRANDÃO *et al.* (2012) informa que a ACV e a “pegada de carbono” são ferramentas cada vez mais populares para a avaliação ambiental de produtos.

Em um estudo de ACV é possível quantificar as emissões de gases de efeito estufa ocorridas ao longo de todo o ciclo de vida de um determinado produto, a partir da contabilização dos fluxos de massa e de energia consumidos em todas as etapas de sua produção. Permite-se assim, a comparação entre produtos semelhantes ou de diferentes matérias-primas para fabricação do mesmo produto, a fim de possibilitar a escolha por aqueles que menos influenciam negativamente o meio ambiente (SALLES, 2009).

A queima de combustíveis fósseis é uma das grandes responsáveis pelo aumento das emissões de CO₂ e as projeções do Gráfico 2.1 indicam que, em 2030, esse aumento pode chegar a 55% das emissões do ano de 2004 (COSTA, 2009).

Gráfico 2.1 - Emissões de CO2 em bilhões de toneladas

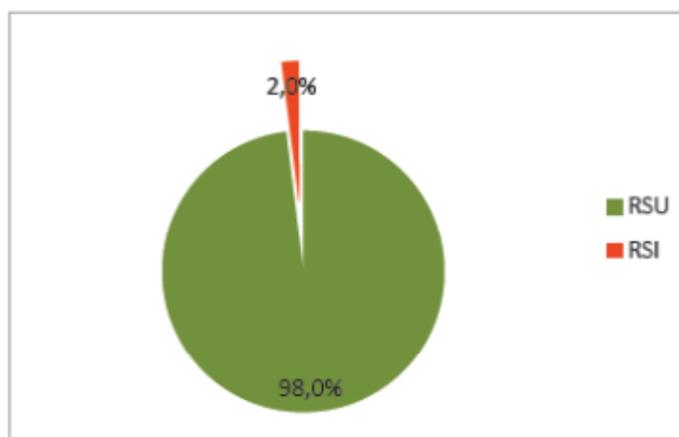


Fonte: COSTA, 2009.

O inventário de emissões de gases de efeito estufa da Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro conclui que o setor de transporte rodoviário é responsável por 38,7% das emissões registradas na cidade, ocupando o primeiro lugar no *ranking* de emissores. De acordo com o levantamento, o Rio de Janeiro emitiu, durante o ano de 2005, 11,351 milhões de toneladas de carbono equivalentes. Em segundo lugar na lista dos emissores, aparecem os resíduos sólidos urbanos, responsáveis por 13,9%, principalmente por conta dos aterros sanitários, incluindo o de Jardim Gramacho. Embora fique em Duque de Caxias, as emissões do aterro foram contabilizadas na Cidade do Rio de Janeiro, porque recebia todos os resíduos vindos do município. Em terceiro aparece a Indústria, com 12,5%, e em quarto lugar aparece claramente a responsabilidade de toda a sociedade civil no combate ao aquecimento global. A energia usada em domicílios e estabelecimentos comerciais está em quarto lugar no *ranking*, sendo responsável por 9,8% das emissões. Em 2010, o Rio de Janeiro assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa na cidade em 8% em 2012, em relação aos dados de 2005 (SMMARJ, 2011).

Conforme o Gráfico 2.2, extraído do inventário de emissões de gases de efeito estufa da Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro, a participação dos resíduos sólidos industriais (RSI) na emissão de GEE neste Município, é bem inferior a dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Entretanto, neste caso não estão considerados os resíduos gerenciados diretamente pelas empresas privadas, isto é, que não passam pelas estações de transferência de resíduos (ETRs) gerenciadas pela COMLURB - Companhia de Limpeza Urbana da Cidade do Rio de Janeiro.

Gráfico 2.2 - Emissão de GEE por tipo de resíduo sólido no Município do Rio de Janeiro (Gg CO₂eq).



Fonte: SMMARJ, 2011.

O governo do Estado de São Paulo prevê que a quantidade de dióxido de carbono emitida no estado vá crescer pelo menos 55% de 2005 a 2020. Até 2035, as emissões devem mais que dobrar (SEESP, 2011).

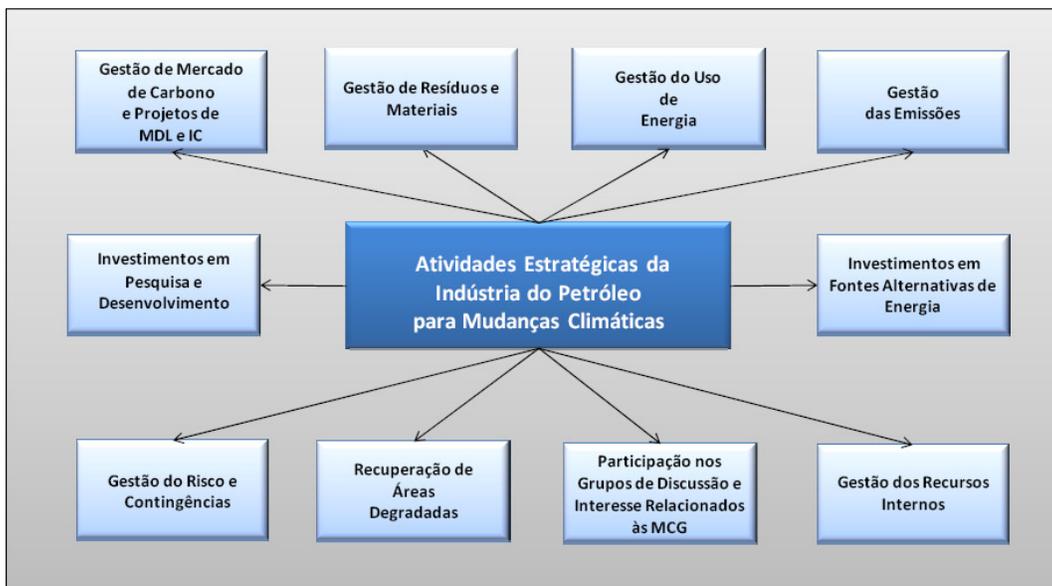
Em consequência dos impactos associados às mudanças climáticas globais (MCG), por um lado as empresas de petróleo passam a adaptar suas atividades produtivas a este fenômeno, com vistas a se manterem competitivas e manterem a reputação junto aos seus *stakeholders*, e por outro, a sociedade passa a exigir das mesmas sua atuação pró-ativa para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Devido a isso, muitas companhias estão vendo as questões relativas às mudanças climáticas como uma questão de negócios, e não mais como um fator gerador de maior custo, motivando a busca por soluções aos problemas ambientais criados pelos processos de produção e comercialização dos bens produzidos.

As empresas petrolíferas têm desenvolvido estratégias específicas para se adaptar e mitigar os efeitos das mudanças climáticas, que incluem inicialmente ações de identificação e mitigação de impactos, tais como a realização de inventário e metas de emissões. Estas, por sua vez, dão origem a medidas de eficiência energética e investimentos em fontes alternativas.

O risco das MCG aos negócios corporativos é iminente, e muitas empresas já perceberam a oportunidade de adotar medidas que minimizem os riscos de investimento e atuação de suas companhias nas mais diversas áreas da economia (RATHMANN *et.al.*, 2010).

As mudanças climáticas também determinam a inserção de uma série de atividades, por empresas de petróleo, para adaptação e/ou mitigação aos seus efeitos, as quais são agrupadas na Figura 2.13.

Figura 2.13 - Atividades da cadeia de valor da indústria do petróleo relacionadas à MCG



Fonte: RATHMANN *et.al.*, 2010.

Analisando-se estas atividades, depreende-se que a atuação de forças competitivas sobre as empresas, em um cenário de MCG, adicionam à sua cadeia de valor novos

processos, os quais por sua vez irão gerar subprocessos através dos quais serão implementadas ações, na tentativa de mitigar os efeitos deste fenômeno.

Dentro da filosofia da GCV, de que a metodologia pode ser adaptada e gradualmente introduzida em qualquer organização, iniciando com reduzidas metas e objetivos, e progressivamente tornando-se mais ambiciosa com o passar do tempo, a proposta deste trabalho é estudar a gestão de resíduos, apresentando uma ferramenta de apoio à decisão que considera não apenas os aspectos financeiros, mas também os de sustentabilidade, através especificamente, da análise da geração de CO₂ por cada opção de destino final.

2.8. LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICÁVEIS

A legislação ambiental brasileira é bastante detalhada e abrangente, entretanto, as leis mais importantes para este estudo são as seguintes:

- Resolução CONAMA nº 006, de 16/06/1988, que dispõe sobre a criação de inventários para o controle de estoques e/ou destino final de resíduos industriais, agrotóxicos e PCB's. Fixa prazos para a elaboração de diretrizes para o controle da poluição por resíduos industriais, do Plano Nacional e dos Programas Estaduais de Gerenciamento de resíduos industriais.
- Resolução CONAMA nº 6, de 19/09/1991, que desobriga a incineração ou qualquer outro tratamento de queima dos resíduos sólidos provenientes dos estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos, ressalvados os casos previstos em leis e acordos internacionais.
- Resolução CONAMA nº 008, de 19/09/1991, que veda a entrada no país, de materiais destinados à disposição final e incineração no Brasil.
- Resolução CONAMA nº 05, de 05/08/1993, que dispõe sobre normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, dá definições, classificações e procedimentos para seu gerenciamento e dá outras providências.

- Resolução CONAMA nº 9, de 31/08/1993, que dispõe sobre o gerenciamento, reciclagem, descarte, disposição, combustão, industrialização e comercialização de óleos lubrificantes usados ou contaminados.
- Resolução CONAMA nº 19, de 29/09/1994, que dispõe sobre autorização em caráter excepcional, de exportação de resíduos perigosos contendo bifenilas policloradas (PCB's).
- Resolução CONAMA nº 23, de 07/12/1994, que institui procedimentos específicos para o licenciamento das atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural.
- Resolução CONAMA nº 24, de 07/12/1994, que trata da importação e exportação de rejeitos radioativos.
- Resolução CONAMA nº 23, de 12/12/1996, que dispõe sobre o movimento transfronteiriço de resíduos e sobre resíduos perigosos.
- Decreto Legislativo nº 60, de 19/04/1995, que aprova o texto da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios – MARPOL, de 1973, de seu Protocolo de 1978, de suas emendas de 1984 e de seus Anexos Opcionais III, IV e V.
- Resolução CONAMA nº 237, de 19/12/1997 – Dispõe sobre o processo de Licenciamento Ambiental, e estabelece a relação mínima das atividades ou empreendimentos sujeitos a este Licenciamento. Dentre eles consta tratamento e/ou disposição de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas.
- Lei nº 9.605, de 12/02/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
- Resolução CONAMA nº 264, de 26/08/1999, que dispõe sobre procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o

coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento.

- Lei Nº 9.966, de 28/04/2000, que dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Nesta cabe ressaltar especificamente o Art. 20, que diz que “A descarga de resíduos sólidos das operações de perfuração de poços de petróleo será objeto de regulamentação específica pelo órgão federal de meio ambiente.” Para atender ao mesmo foi emitida a Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 - Projeto de Controle da Poluição - Diretrizes para apresentação, implementação e para elaboração de relatórios, nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás.
- Resolução CONAMA nº 275, de 25/04/2001, que estabelece código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores.
- Resolução CONAMA nº 313, de 29/10/2002, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais;
- Resolução CONAMA nº 316, de 29/10/2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.
- Resolução nº 358, de 29/04/2005, que dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.
- Resolução CONAMA nº 401, de 04/11/2008, que revoga a Resolução CONAMA Nº 257/99 e estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências.

- Resolução CONAMA nº 404, de 11/11/2008, que revoga a Resolução CONAMA nº 308/02 e estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.
- Decreto Legislativo nº 499, de 10/08/2009, que aprovou no Brasil o Anexo VI da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios — MARPOL, que trata especificamente da prevenção da poluição atmosférica causada por navios e plataformas.
- Lei 12.305, de 02/08/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências.

Com relação a normas técnicas, as mais relevantes para o estudo em questão são as listadas abaixo:

- ABNT NBR 8418:1984 - Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos- Procedimento.
- ABNT NBR 10157:1987 - Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação – Procedimento.
- ABNT NBR 11174:1990 - Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes – Procedimento.
- ABNT NBR 12807:1993 - Resíduos de serviços de saúde – Terminologia.
- ABNT NBR 12808:1993 - Resíduos de serviço de saúde – Classificação.
- ABNT NBR 12809:1993 - Manuseio de resíduos de serviços de saúde – Procedimento.
- ABNT NBR 12810:1993 - Coleta de resíduos de serviços de saúde – Procedimento.

- ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. É referendada nos Termos de Referência para o licenciamento ambiental das atividades de exploração e produção de hidrocarbonetos.
- ABNT NBR 10005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- ABNT NBR 10006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
- ABNT NBR 10007:2004 - Amostragem de resíduos sólidos.
- ABNT NBR ISO 14001:2004 - Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso.
- OHSAS 18001:2007 - *Occupational health and safety management systems – Requirements.*
- ABNT NBR ISO 9001:2008 - Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos.
- ABNT NBR 9191:2008 - Sacos plásticos para acondicionamento de lixo - Requisitos e métodos de ensaio.
- ABNT NBR ISO 14040:2009 - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.
- ABNT NBR ISO 14044:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.
- ABNT NBR 13221:2010 - Transporte terrestre de resíduos.

2.9. MODELOS E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

A representação da realidade é uma necessidade da sociedade moderna, seja pela impossibilidade de lidar diretamente com a realidade, por aspectos econômicos, ou pela complexidade. Assim, busca-se a representação da realidade por meio de

modelos que sejam bem estruturados e representativos desta realidade (SCHICHL, 2003):

Modelos são parte integrante da vida cotidiana, podendo-se citar como exemplos os aeromodelos, retratos, globos terrestres, etc. Além disso, também estão presentes na ciência e negócios, como representado pelos modelos do átomo, modelos de estrutura genética, equações matemáticas descrevendo leis físicas do movimento ou reações químicas, gráficos, organogramas, e sistemas de contabilidade. Tais modelos são de valor inestimável para abstrair a essência do objeto de investigação e suas interrelações, facilitando assim sua análise (HILLIER e LIEBERMAN, 2001).

Um modelo matemático é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que traduz, de alguma forma, um fenômeno em questão ou um problema de situação real. A modelagem matemática é a arte de transformar situações do meio circundante em modelos matemáticos (LEAL, 1999).

Uma abordagem frequentemente empregada na formulação e resolução de problemas consiste no emprego de modelos de otimização, que visam maximizar (ou minimizar) um critério de desempenho como, por exemplo, a produção de um dado insumo, sujeito a restrições que descrevem as condições operacionais. A linguagem utilizada pela otimização para expressar os problemas é conhecida universalmente por programação matemática (NOCEDAL e WRIGHT, 1999).

2.9.1. ELEMENTOS DE UM PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

Tipicamente, um problema de otimização possui três elementos constituintes (SCHICHL, 2003):

- a) Variáveis de Decisão: Parâmetros cujos valores definem uma solução para o problema. Em um sistema de produção, estes parâmetros podem definir as quantidades produzidas e os recursos utilizados. As variáveis de decisão são o cerne do problema, e representam as opções que um administrador tem para atingir um objetivo. Por exemplo, quanto produzir para maximizar o lucro? ou quanto comprar de uma ação para minimizar o risco da carteira?

- b) Função Objetivo: Uma função das variáveis de decisão a ser minimizada ou maximizada. No sistema de manufatura, podemos estar interessados em minimizar custos, reduzir o número de homens-hora e conseqüentemente aumentar a produtividade.
- c) Restrições: Um conjunto de funções que define o espaço factível de soluções. No sistema de manufatura, as restrições estabelecem limites para os recursos utilizados, restrições operacionais do processo de produção, bem como limitações físicas e tecnológicas.

2.9.2. FORMULAÇÃO GERAL DE PROBLEMA EM PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Um problema em programação matemática é um problema de otimização, no qual o objetivo e as restrições são expressos como funções matemáticas e relações funcionais, e tem a seguinte formulação (HILLIER e LIEBERMAN, 2001):

$$\begin{array}{ll}
 \text{Otimizar:} & z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\
 \\
 \text{Sujeito a:} & g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\
 & g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\
 & \quad \vdots \\
 & g_n(x_1, x_2, \dots, x_n)
 \end{array} \tag{9.1}$$

em que

x_1, x_2, \dots, x_n variáveis de decisão;

$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ função objetivo;

g_1, g_2, \dots, g_n restrições.

2.9.3. PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA LINEAR E NÃO LINEAR

O problema de programação linear é um caso particular de (9.1) cuja função objetivo e restrições são todas lineares. Os problemas em programação matemática linear e não

linear visam fundamentalmente encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por funções lineares e não lineares, respectivamente.

2.9.4. PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Uma variedade de problemas reais podem ser formulados com o emprego de variáveis discretas. Dentre eles, pode-se citar o problema de agendamento de trens, o problema de agendamento de tripulações de aviões e o problema de alocação em sistemas de telecomunicações. Todos estes problemas têm uma característica em comum: fazem uso de variáveis inteiras ou discretas. Não se pode por exemplo dividir um vagão de trem em frações, não se pode alocar meio piloto a uma aeronave; e não se pode instalar uma fração de um servidor de telecomunicações. Estes e muitos outros problemas fazem parte do universo da programação linear inteira, que engloba problemas da forma (VANDERBEI, 2001):

$$\begin{array}{ll} \text{Otimizar:} & c^T x \\ \\ \text{Sujeito a:} & Ax \geq b \\ & Cx = d \\ & x \geq 0 \\ & x \in \mathbb{Z}^n \end{array}$$

O problema geral de programação inteira pode ser dividido em classes, dependendo da natureza das decisões, da existência de variáveis contínuas e discretas e do tipo de restrições. A seguir são apresentadas algumas destas classes (WOLSEY, 1998):

2.9.4.1. PROBLEMA (LINEAR) INTEIRO MISTO

O problema inteiro misto nada mais é do que um problema de programação linear com variáveis discretas e outras contínuas, sendo expresso na forma:

Maximizar: $c^T x + h^T y$

Sujeito a: $Ax + Gy \leq b$
 $x \geq 0, y \geq 0$ e y inteiro

2.9.4.2. PROBLEMA (LINEAR) INTEIRO

Nesta versão do problema, todas as variáveis devem ser inteiras:

Maximizar: $c^T x$

Sujeito a: $Ax \leq b$
 $x \in \mathbb{Z}^n$

2.9.4.3. PROBLEMA (LINEAR) INTEIRO BINÁRIO

Uma versão particular do problema inteiro é o problema binário, no qual todas as variáveis só podem assumir os valores 0 ou 1:

Maximizar: $c^T x$

Sujeito a: $Ax \leq b$
 $x \in \{0, 1\}^n$

2.9.4.4. PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA

Problemas de natureza combinatória são aqueles em que se deseja encontrar um arranjo particular, dentre um número comumente combinatório e exponencial de arranjos factíveis, que minimize ou maximize algum critério de seleção para os diferentes arranjos.

Seja $N = \{1, \dots, n\}$ um conjunto finito, c_j o custo de cada elemento j de N e \mathcal{F} uma família de subconjuntos de N dita família de subconjuntos viáveis, por exemplo., $\mathcal{F} \subseteq 2^n$, então o problema de otimização combinatória pode ser definido em programação matemática:

$$\text{Max}_{S \in \mathcal{F}} \left\{ \sum_{j \in S} c_j : S \in \mathcal{F} \right\}$$

3. MODELO PROPOSTO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS DE OPERAÇÕES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO *OFFSHORE*.

O objetivo deste modelo é buscar a melhoria contínua do processo de gerenciamento de resíduos de operações de Exploração e Produção *offshore*. O histórico do gerenciamento de resíduos das operações em questão é de que se costumava visar apenas o cumprimento legislativo, que basicamente significa garantir, dentro do processo de licenciamento ambiental da atividade principal, que toda a cadeia produtiva, isto é, do gerador aos destinos finais, esteja devidamente licenciada; que os manifestos de resíduos estejam adequadamente preenchidos; e que a separação seja feita na geração, atendendo aos requisitos legislativos. Adicionalmente, porém fora do escopo do licenciamento ambiental, é necessário também que as notas fiscais dos resíduos enviados pelo gerador sigam os trâmites regulatórios corretos.

Apesar de, numa primeira avaliação, as atividades descritas parecerem simples, um grande esforço envolvendo significativa quantidade de recursos materiais e humanos é necessária para que as mesmas sejam atingidas a contento, em função da grande e diversa quantidade de resíduos gerada; e devido ao significativo número de pessoas e empresas, de diferentes nacionalidades e conseqüentemente, distintas culturas, envolvidas no processo. No caso da perfuração de um dos poços da campanha exploratória da Empresa estudada, havia como geradores de resíduos, um navio-sonda, com uma tripulação aproximada de 160 pessoas de dez empresas diferentes; três barcos de apoio logístico e dois de prontidão para emergências ambientais, com média de dez pessoas cada um e de quatro empresas diferentes também de nacionalidades distintas. Além disso, deve ser também considerada a geração de resíduos da operação na própria base de apoio, onde são carregados para envio à locação da perfuração, todos os materiais e equipamentos para sua realização.

Para que o gerenciamento de resíduos gerados seja executado da maneira requerida, todas as pessoas envolvidas na operação devem ser treinadas em como fazê-lo, bem como o navio-sonda e embarcações de apoio dotados das ferramentas necessárias para tal, que incluem dispositivos para separação de resíduos, isto é, recipientes com cores distintas, sacos plásticos apropriados de tamanhos diversos, balança para pesagem, material educativo e sinalização orientativa, sendo os últimos em Português e Inglês. Este treinamento, além de incluído no Programa de Educação Ambiental dos Trabalhadores (PEAT), requerido como condicionante pela Licença Prévia de

Perfuração (LPPER) emitida pelo IBAMA, é feito previamente ao início das operações e constantemente a bordo, pelo técnico ambiental embarcado.

Dentro do âmbito do PEAT, é exigido um treinamento de no mínimo oito horas, abrangendo o seguinte conteúdo: descrição do meio ambiente físico, biótico e antrópico local; apresentação dos impactos decorrentes da atividade e formas de minimizá-lo; gerenciamento de resíduos; noções sobre conservação de energia; noções sobre legislação ambiental, incluindo a Lei n° 9605/98e; procedimentos de contenção de vazamentos e combate a derrames de óleo. Adicionalmente, deve incluir um trabalho específico para criar uma convivência social positiva (IBAMA, 2006).

Para o mencionado poço exploratório, foram treinadas no PEAT aproximadamente 400 pessoas, em um total de cinco grandes sessões em terra, mais sessões constantes para novos trabalhadores no ambiente *offshore*, todas com oito horas cada.

Usualmente, para a gestão de resíduos, a prática era utilizar uma empresa de consultoria para os treinamentos, e outra, geralmente a própria empresa responsável pelas atividades de suporte logístico na base de apoio em terra, para o gerenciamento destes resíduos desde sua chegada à base até o envio a seus respectivos destinos finais. Entretanto, dentro da filosofia de buscar a melhoria contínua dos processos, a companhia estudada decidiu ser responsável por esta gestão de maneira ampla, de modo a ter maior controle sobre este processo, logrando assim maior possibilidade de minimizar tanto seus custos, quanto a possibilidade de impactos negativos à sua imagem, através da geração de passivos ambientais futuros, oriundos de possíveis práticas inadequadas dos transportadores e destinadores finais. Para isso, a empresa estudada optou por ser a gestora direta de seus resíduos, não apenas limitando-se a gerenciar uma empresa contratada para tal fim, o que era a prática desde o início de suas operações de perfuração *offshore*.

O modelo proposto auxilia na tomada de decisão sobre o melhor destino final, tanto do ponto de vista econômico, quanto à geração de CO2 equivalente, envolvendo as etapas de movimentação de resíduos entre o terminal marítimo que recebe os resíduos da plataforma *offshore*, a quantidade de veículos envolvidos, os tipos de resíduos que são transportados em cada veículo e a viagem realizada para a empresa de destinação final determinada pelo modelo.

Os resíduos gerados na plataforma são segregados por classe, estado físico e periculosidade. São armazenados na própria plataforma ou em áreas específicas dos barcos de apoio marítimo. O barco de apoio viaja até o continente, e quando chega ao terminal de apoio marítimo, desembarca este material em uma área para armazenamento temporário de resíduos. Estas áreas são divididas em classes de resíduos, possuindo os requisitos necessários de segurança e capacidade para estoque destes materiais. Os resíduos aguardam então o transporte terrestre que é realizado pelos veículos especiais que possuem autorização para o transporte de resíduos industriais, conforme apresentados no capítulo 2.4. Estes veículos podem ser contratados ou pertencer às empresas de destinação final, o que influencia diretamente no custo de transporte.

Cada tipo de veículo possui uma capacidade limite, a qual não pode ser ultrapassada em cada viagem. As capacidades do caminhão-caçamba e do caminhão-tanque são de 10.000 kg e o furgão possui capacidade de 500 kg. Os caminhões-caçamba podem transportar vários tipos de resíduos em uma mesma viagem pois os resíduos sólidos são segregados na fonte geradora e acondicionados em embalagens especiais. Já os caminhões-tanque transportam os resíduos líquidos, que não podem ser misturados, pois esta mistura acarreta redução do preço de mercado daquele resíduo, em eventual venda. Além disso, LORA (2000) afirma que a mistura de dois ou mais resíduos incompatíveis pode ocasionar reações indesejáveis ou incontroláveis que resultam em conseqüências adversas ao homem, ao meio ambiente, aos equipamentos e mesmo à própria instalação industrial.

Os resíduos infecto-contagiosos não podem ser misturados com outros tipos de resíduos e possuem veículos próprios para o seu transporte. Cada veículo contratado realiza uma viagem que parte do terminal de apoio marítimo até uma das empresas de destino final.

Os parâmetros relacionados aos custos de transporte foram divididos em duas categorias: a primeira onde a empresa de destinação possui os veículos para o transporte de resíduos e assume o custo de transporte, modalidade conhecida como FOB (*Freight on Board*). Conforme BALLOU (1993), uma das principais razões para possuir ou alugar uma frota de veículos é obter menores custos e melhor desempenho na entrega do que seria possível através do uso de transportadoras convencionais.

Na outra configuração o custo da contratação de veículos, pertencentes a uma empresa transportadora, é pago pela empresa geradora de resíduos, modalidade conhecida como CIF (*Cost, Insurance and Freight*).

De acordo com a Associação Nacional de Transporte de Carga (NTC, 2011), os custos de operações de transporte são divididos em custos fixos e custos variáveis. O custo fixo de operação do veículo, expresso em R\$/mês, é composto pelas seguintes parcelas:

- Depreciação do veículo
- Remuneração mensal do capital investido
- Salário e encargos do motorista e ajudantes
- Salário e encargos do pessoal de oficina
- Licenciamento
- Seguro obrigatório
- Seguro contra incêndio, colisão e roubo (facultativo)
- Seguro de danos materiais e pessoais a terceiros (facultativo)

O custo variável, expresso em R\$/km, é composto das seguintes parcelas:

- Combustível
- Pneus, câmaras, recapagens e protetores
- Peças e materiais de oficina
- Óleos de cárter, câmbio e diferencial
- Lavagens e graxas

Nesta tese os custos de transporte são considerados conforme o trabalho de SOUZA (2010), com valores em R\$/caminhão, onde já estão embutidos todos os custos fixos e variáveis, de acordo com a prática dos contratos de transporte praticados pelas empresas transportadoras, e que participam na função objetivo do modelo matemático proposto através do parâmetro CUSTOKM.

As empresas de destino final recebem os resíduos, podendo cobrar por seus serviços, gerar receita através da aquisição dos mesmos, ou mesmo recebê-los sem cobrar pelos serviços ou pagar pela compra dos resíduos. Estas empresas são divididas em conjuntos por tipos de tratamento, onde existe um conjunto pré-determinado de

resíduos que cada tipo de empresa de destinação recebe. Deste modo, outra parcela da função objetivo do modelo proposto se refere aos custos de destinação final, os quais foram divididos em três categorias: Pagamento, Venda e Doação.

O Pagamento consiste na contratação pela empresa geradora dos resíduos de uma empresa para a destinação final de resíduos, pagando para tanto um valor determinado.

A Venda consiste na compra dos resíduos pelas empresas de destinação final, recebendo a empresa geradora um determinado valor por eles. A Doação consiste na destinação dos resíduos para empresas de destinação que não pagam e também não recebem pelos resíduos.

Apesar das empresas de destinação possuírem uma área física finita, sua capacidade de recebimento na prática é função da velocidade em que processa os resíduos recebidos.

Nesta tese, similarmente ao considerado no trabalho de SOUZA (2010), os parâmetros relacionados à capacidade das empresas de destino final correspondem ao somatório da quantidade de todos os resíduos referentes ao tipo de destinação. Posteriormente, esse valor é dividido pela quantidade de empresas, obtendo-se portanto uma média aritmética. O valor obtido desta média aritmética corresponde à capacidade de cada empresa de destinação final.

O modelo proposto consiste inicialmente na auditoria de todos possíveis destinos finais dos resíduos, a fim de garantir que os mesmos cumpram com os requisitos legislativos, e qual o seu nível de atendimento aos requisitos das normas ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001. Com esta auditoria, é possível então verificar quais os destinos finais não podem ser utilizados, em função de não atendimento legislativo, minimizando-se assim, os riscos de destinação inadequada e, conseqüentemente, de passivos ambientais futuros. Adicionalmente, possibilita uma clara visão das práticas operacionais de cada empresa, à luz dos requisitos das normas citadas, podendo-se graduar cada empresa com relação ao seu nível de aderência às mesmas.

Nesta etapa inicial, foi possível identificar oportunidades de ganhos econômicos e ambientais na destinação de resíduos recicláveis, que anteriormente não eram considerados.

Segundo informações da Empresa, comparando-se o perfil de destinação dos dois primeiros poços com o terceiro, passou-se a reciclar 62% de resíduos sólidos, frente aos 36% das operações anteriores. Além disso, foi possível reduzir de 37 para 1% o percentual de resíduos enviados para aterros industriais.

Com estas mudanças, além dos ganhos ambientais obtidos, foi possível arrecadar com a destinação dos resíduos sólidos, aproximadamente R\$ 30.000,00, que apesar de representarem um valor pequeno frente aos custos totais das operações, foram revertidos em projetos ambientais da Empresa, agregando um valor intangível importante à sua imagem. Adicionalmente, estas melhorias foram resultado de uma gestão controlada em toda a cadeia desde seu início, o que minimiza a possibilidade de geração de passivos ambientais.

3.1. AUDITORIA DOS DESTINOS FINAIS

Conforme descrito anteriormente, a primeira etapa desta mudança foi a auditoria de todos os destinos finais, a fim de verificar a adequação legislativa, através da existência de licença ambiental, bem como do atendimento de suas respectivas condicionantes, garantindo assim, que os destinos aprovados através das auditorias, pudessem ser de fato opções para onde os resíduos das operações pudessem ser enviados. Adicionalmente, nestas auditorias foram verificados também o atendimento aos demais requisitos de QSMS, preconizados pelas normas ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, de modo a diferenciar as empresas auditadas de acordo com um grau atribuído por uma planilha de avaliação da Empresa estudada. A citada planilha de avaliação verifica, através de notas individuais, as 14 Práticas de Gestão de QSMS da Companhia, conforme Tabela 3.1. A cada item avaliado foi atribuído um peso, que multiplicado pela nota de cada quesito, que varia de 1 a 4, totaliza um grau final. Assim, caso a empresa auditada obtenha nota máxima em todos os itens, sua nota final atinge 100%, que significa que todos os itens avaliados foram atendidos plenamente.

Tabela 3.1 - 14 Práticas de Gestão de QSMS da Empresa estudada

ELEMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DE QSMS	PESO TOTAL DO ITEM	NOTA (de 1 a 4)	NOTA x PESO
Liderança e Comprometimento	125		
Política e Objetivos Estratégicos	125		
Organização, Funções e Responsabilidades	240		
Gestão de Perigos e Riscos	25		
Gestão de Subcontratadas	105		
Projeto e Construção de Instalações	75		
Operações e Manutenção	80		
Gestão de Mudanças	25		
Notificação, Investigação e Relatórios de Incidentes	90		
Gerenciamento de Crises e Emergências	80		
Saúde Ocupacional	180		
Meio Ambiente	115		
Controle de Documentos e Requisitos Legais	55		
Monitoramento, Verificação e Revisão de Desempenho	90		
TOTAIS (Σ)	A		B
NOTA	B/(Ax4)		

Fonte: Elaboração do autor com base na planilha de avaliação da Empresa estudada. Os graus obtidos por cada empresa destinadora de resíduos através da citada auditoria são apresentados na Tabela 3.2..

Tabela 3.2 - Graus obtidos por cada empresa destinadora de resíduos através de auditoria

EMPRESA	TIPO DE TRATAMENTO	SISTEMA DE GESTÃO	CERTIFICAÇÕES	ANO DA PRIMEIRA CERTIFICAÇÃO	GRAU OBTIDO (%)
A	Incineração	Sim (QSMS)	ISO 9001, 14001 e OHSAS 18001	2007	70
B	Aterro Industrial	Sim (QSMS)	ISO 9001, 14001 e OHSAS 18001	2007	70
C	Reuso	Não	Não aplicável	Não aplicável	39
D	Rerrefino	Sim	ISO 9001, 14001	2008	60
E	Reciclagem	Sim	ISO 14001	2009	51
F	Reciclagem	Sim	ISO 9001, 14001	2007	65
G	Reciclagem	Sim (Q e M)	Não	Não aplicável	36
H	Reciclagem	Sim (Q)	Não	Não aplicável	35
I	Blendagem para coprocessamento	Não	Não aplicável	Não aplicável	30
J	Blendagem para coprocessamento	Sim (QSMS)	ISO 9001, 14001 e OHSAS 18001	2006	92
K	Blendagem para coprocessamento	Sim (QSMS)	ISO 9001, 14001 e OHSAS 18001	2007	70
L	Reciclagem	Não	Não aplicável	Não aplicável	30

Fonte: Elaboração do autor.

Uma vez finalizada esta etapa, considerando apenas as empresas auditadas foi possível verificar que:

- a) As empresas destinadoras cujos sistemas de gestão eram integrados (QSMS), certificados pela ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, obtiveram as maiores notas.
- b) As empresas cujas primeiras certificações foram obtidas há mais tempo obtiveram notas superiores às que possuíam certificados mais recentes.
- c) As empresas que possuíam sistemas de gestão não certificados obtiveram resultados abaixo das que possuíam o sistema certificado.
- d) As notas foram menores quanto menor o número de certificados. A empresa certificada apenas pela ISO 14001 obteve nota menor do que as obtidas pelas empresas certificadas pelas ISO 9001 e 14001.

- e) As empresas sem sistemas de gestão de QSMS implementados obtiveram resultados inferiores dos obtidos pelas empresas com estes sistemas.

- f) Destinos finais considerados mais sustentáveis, como por exemplo reuso e reciclagem obtiveram notas inferiores a destinos considerados ambientalmente maiores poluidores, como incineração e aterro industrial. Tais resultados derivam do fato destas empresas não possuírem sistemas de gestão integrados e, assim sendo, não considerarem o atendimento aos requisitos da gestão integrada de QSMS em seus processos de trabalho. No que se refere à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional em atendimento aos requisitos da norma OHSAS 18001, esta condição está alinhada com as diretrizes da Organização Internacional do Trabalho (ILO, 2012), que afirma que à medida que a economia verde se desenvolve, é essencial que a Segurança e Saúde Ocupacional sejam integradas nas políticas dos empregos verdes. Isto implica em integrar a avaliação dos riscos e sua respectiva gestão na análise do ciclo de vida de todos os empregos verdes. Em outras palavras, um verdadeiro trabalho verde deve integrar a Segurança e a Saúde em todas as áreas da empresa, tais como operações, *supply chain*, manutenção, recursos humanos, etc., através de sistemas de gestão integrados e certificados. Dentro desta filosofia, a OIT definiu o tema para o Dia Mundial da Segurança e Saúde no Trabalho, celebrado em 28 de Abril de 2012, como “Promovendo a Segurança e Saúde no Trabalho numa Economia Verde”. Segundo a Organização, há uma mudança no mundo para uma economia mais verde e sustentável. No entanto, mesmo que certos trabalhos sejam considerados "verdes", as tecnologias utilizadas podem proteger o meio ambiente, mas não serem de nenhuma forma, seguras para seus empregados.

Pode-se confirmar pelos resultados obtidos na amostra de empresas auditadas que:

- a) Sistemas de gestão de QSMS permitem melhor gerenciamento dos requisitos relativos à Qualidade do produto fornecido ou serviço prestado, perigos e riscos relativos à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional e aspectos e impactos ao Meio Ambiente.

- b) A certificação dos sistemas de gestão de QSMS propicia melhor gerenciamento dos requisitos relativos à Qualidade do produto fornecido ou serviço prestado, perigos e riscos relativos à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional e aspectos e impactos ao Meio Ambiente.

- c) Sistemas de gestão de QSMS permitem a melhoria contínua do gerenciamento dos requisitos relativos à Qualidade do produto fornecido ou serviço prestado, perigos e riscos relativos à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional e aspectos e impactos ao Meio Ambiente.

3.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Após as auditorias de QSMS nas empresas destinadoras finais, faltava então definir, dentre as diferentes opções por resíduo, qual delas seria a melhor do ponto de vista econômico. Para isso, bastava comparar, para cada destino final, qual o menor custo envolvido, considerando-se o relativo ao transporte, mais o valor pago para a destinação ou menos o valor recebido no caso da venda de um resíduo reciclável.

Porém, a busca por destinos finais adequados é algo que pode e deve ocorrer permanentemente, de modo a dar mais alternativas para a Companhia, de maneira a ampliar a gama de opções em caso de alguma indisponibilidade da empresa de destinação economicamente melhor, por razões de mercado que possam limitar sua capacidade de recebimento, além de possibilitar uma constante possibilidade de melhoria econômica através da entrada de outros atores no processo negocial. Por esta razão, pode-se concluir que a decisão de envio para um destino final deve ser um processo dinâmico, que tende a ser individual para a chegada de cada batelada de resíduos, à medida que o processo se desenvolva.

A fim de apoiar, do ponto de vista econômico, o tomador de decisão envolvido no processo de gerenciamento de resíduos, SOUZA (2010), propôs um modelo de Programação Matemática Inteira Mista, com o objetivo de minimizar os custos de transporte e destinação final, determinando o fluxo de resíduos enviados para cada empresa de destino final, e definir a empresa transportadora que pode realizar a movimentação do resíduo do ponto de origem (terminal de apoio marítimo) até a empresa de destino final. Além disso, o modelo informa a quantidade necessária de veículos para determinada operação, obedecendo o limite de capacidade de cada empresa de destino final e de cada tipo de veículo, considerando o volume de resíduos estocados temporariamente.

O citado estudo envolve um caso real de movimentação e destinação de resíduos de uma empresa de exploração e produção de petróleo, no qual os dados envolvidos são

provenientes desta empresa e alguns que possuem característica sigilosa foram modificados para serem usados no trabalho.

3.3. INCLUSÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA AVALIAÇÃO

Dentro do critério de melhoria contínua proposto pela Gestão do Ciclo de Vida, este trabalho propõe a inclusão do aspecto adicional de sustentabilidade ambiental, somando-se à verificação elaborada durante as auditorias de QSMS nas empresas destinadoras finais de resíduos. Para isto foram obtidas as quantidades de CO2 gerado por cada processo de destinação final, através de bancos de dados de Inventários de Ciclo de Vida (ICV).

Foram utilizados dois bancos de dados de ICV:

- a) *U.S. Life Cycle Inventory (LCI) Database (2011)*, do *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. É um banco de dados publicamente disponíveis, que permite aos usuários de forma objetiva, analisar e comparar os resultados de Análises de Ciclo de Vida, que se baseiam em métodos semelhantes de coleta de dados e análise. Tendo em vista que encontrar dados de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) consistentes e transparentes é difícil, o NREL trabalha com especialistas em ACV para resolver este problema, fornecendo uma fonte central de dados de ICV criticamente revisados através de seu banco de dados. O grupo de pesquisa do NREL trabalha conjuntamente com as partes interessadas do governo americano e parceiros da indústria, para desenvolver e manter o banco de dados. O projeto do mesmo foi iniciado em 1 de Maio de 2001, e ganhou destaque nacional em uma reunião organizada pela *Ford Motor Company*. Agências financiadoras e representantes da indústria, academia e comunidades de consultoria expressaram forte apoio ao projeto. Como resultado, um grupo consultivo com 45 representantes das áreas de manufatura, governo e organizações não-governamentais, bem como especialistas de ACV, trabalharam juntos para criar o banco de dados. Seu protocolo de informação é baseado na ISO 14048, e compatível com o formato EcoSpold, e seus dados revisados criticamente de acordo com protocolo de revisão de dados.

- b) Ecoinvent (2011), do *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*, é considerado o banco de dados de ICV líder no mundo, com informações consistentes, transparentes e atualizadas nas áreas de agricultura, suprimento de energia, transporte, biocombustíveis e biomateriais, produtos químicos, materiais de construção, materiais de embalagens, metais básicos e preciosos, processamento de metais, eletrônicos bem como tratamento de resíduos. Seus dados genéricos são baseados em informações da indústria, e foram compilados por renomados institutos de pesquisa internacionais e consultores de ACV. Os dados estão disponíveis através de assinatura no formato EcoSpold, sendo compatíveis com as principais ferramentas de ACV e ecodesign.

Para cada tipo de resíduo e destinação, foi associado um processo em um dos citados bancos de dados de ICV, buscando-se o que melhor se assemelha ao processo real.

Para a obtenção do CO₂ equivalente para o transporte dos resíduos foi utilizado o processo “*Transport, single unit truck, diesel powered*” do banco de dados U.S. LCI, conforme Tabela 3.3. Na mesma pode-se verificar que, para cada tonelada de carga transportada por um quilômetro de distância, são gerados 0,171 Kg de CO₂ equivalente. Deste modo, para cada tipo de resíduos e destino final foi utilizada a seguinte fórmula, para calcular a massa de CO₂ equivalente gerado em cada processo de destinação final:

$$\text{Massa de CO}_2 \text{ equivalente} = \text{Massa de resíduos (ton)} \times \text{Distância até destino final} \times 0,171$$

Tabela 3.3 - Processo “Transport, single unit truck, diesel powered”

Top of Form

Streamlined Data

Module name:

Bottom of Form
data files

Process Info	Flow Info	Source Info	Person Info			
Flow Info						Unallocated Data
Explanations	Name	Category	Sub Category	Infrastructure Process	Unit	Transport, single unit truck, diesel powered
Infrastructure Process						No
Inputs from Technosphere	Diesel, at refinery			No	L	5.83E-02
Outputs to Nature	Carbon dioxide, fossil	air	unspecified	No	kg	1.71E-01
	Carbon monoxide, fossil	air	unspecified	No	kg	2.46E-04
	Dinitrogen monoxide	air	unspecified	No	kg	6.19E-06
	Methane, fossil	air	unspecified	No	kg	4.13E-06
	Nitrogen oxides	air	unspecified	No	kg	1.22E-03
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	air	unspecified	No	kg	2.35E-05
	Sulfur oxides	air	unspecified	No	kg	3.77E-05
	VOC, volatile organic compounds	air	unspecified	No	kg	8.42E-05
Product Outputs	Transport, single unit truck, diesel powered			No	tkm	1.00E+00

Fonte: U.S. Life Cycle Inventory (LCI) Database (2011), do National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Este valor de CO2 equivalente do banco de dados U.S. LCI é coerente com o apresentado no banco de dados Ecoinvent, na opção “transport, tractor and trailer, CH, [tkm]”, onde, para uma tonelada sendo transportada por um quilômetro, são geradas 0,18078 Kg de CO2 equivalente para baixa densidade populacional e 0,058041 Kg para alta densidade populacional. Fazendo-se uma média aritmética simples destes

dois valores chegamos a 0,119411 Kg, que é relativamente próximo do valor de 0,171 Kg do banco de dados US LCI.

Deve-se considerar, adicionalmente, que os dados do U.S. LCI são oriundos de valores dos Estados Unidos, enquanto os do Ecoinvent da Suíça (CH). Assim sendo, dados mais exatos poderiam ser obtidos caso fossem utilizadas informações de ICV específicas do Brasil. Por exemplo, os dados de CO₂ equivalente gerado durante o transporte de resíduos, obtidos através do *Life Cycle Inventory Database*, utilizam informações dos Estados Unidos, ou seja, estradas, caminhões e combustíveis americanos, que possuem diferenças com relação ao mesmo tipo de transporte executado no Brasil.

De acordo com RIBEIRO (2009), a principal limitação da ACV é a necessidade de coleta de um elevado número de dados representativos para a região em estudo, limitação esta que pode ser contornada através da construção de bancos de dados regionais, ou seja, de inventários de elementos que são comuns aos ciclos de vida de inúmeros produtos. Adicionalmente, VIANA (2008), conclui que, em alguns casos a utilização de bancos de dados internacionais pode distorcer os resultados dos estudos de ACV, de forma a não representar exatamente a realidade da região em estudo.

Vale também ressaltar que nas tabelas do U.S. LCI o valor de CO₂ equivalente em questão é único, não sendo apresentada nenhuma informação direta sobre densidade populacional.

Para a obtenção do CO₂ equivalente gerado por cada processo de destinação final foram utilizados processos dos bancos de dados de ICV conforme mostrado na Tabela 3.4. A exceção é para os processos de coprocessamento, onde se considerou a mesma geração de CO₂ equivalente do processo de reciclagem de metal, por estar este em um valor intermediário dentre a geração de CO₂ gerado pela reciclagem dos diferentes resíduos recicláveis deste estudo. Isto é, para o processo de queima do *blend* nos fornos de cimento considerou-se a geração de CO₂ igual a zero. Estas decisões foram baseadas nos seguintes fatos:

- 1) Não foram encontrados nos bancos de dados de ICV pesquisados processos de blendagem, que é uma parte da destinação final de resíduos para coprocessamento, de modo que fosse possível associar aos processos de destinação final de resíduos estudados. Também é difícil determinar o quanto

de cada tipo de resíduo entra na composição do *blend*. De acordo com MARTINS *et al.* (2008), antes da blendagem é feita uma verificação da compatibilidade química entre os resíduos, de maneira a evitar problemas durante o processo produtivo. Logo, por não ser possível determinar as composições químicas dos diversos tipos de resíduos, a não ser caso a caso, é inviável conhecer qual a quantidade de cada um a fazer parte de cada batelada de *blend*.

- 2) O processo de coprocessamento consiste em inserir resíduos como parte do material combustível para a produção de cimento. Logo, entende-se que este processo não gera CO₂ equivalente adicional à produção de cimento. Ao contrário, os resíduos minimizam a quantidade de combustíveis e de matéria-prima da fabricação de cimento, justificando assim, a premissa adotada.

Não foi considerada a opção de coprocessamento para os resíduos hospitalares, uma vez que, de acordo com a Resolução CONAMA no. 264 (1999), este tipo de resíduo não é aplicável para as atividades de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, juntamente com resíduos domiciliares brutos, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins.

De acordo com a Companhia Holcim (HOLCIM, 2011), entre os muitos materiais que podem ser coprocessados estão borras oleosas, graxas, serragens, plásticos, pneus, papéis e embalagens, não sendo utilizados no processo resíduos hospitalares, materiais radiativos, pilhas, baterias, pesticidas, lixo doméstico não-classificado, entre outros. Por esta razão, também não foi considerada a opção coprocessamento para pilhas e baterias.

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11, entretanto, apresenta resultados de destinação para coprocessamento e *blend* de resíduos para pilhas e baterias, e coprocessamento para resíduos infecto-contagiosos (hospitalares).

Tabela 3.4 - Processos dos bancos de dados de ICV utilizados para obtenção do CO2 equivalente gerado por cada processo de destinação final

TIPO DE RESÍDUO	Destino/Tratamento	CO2 Transporte		CO2 Processo	
		Banco de Dados	Processo utilizado	Banco de Dados	Processo utilizado
Bombonas contaminadas	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Eliminação de resíduos, perigosos, 25% de água, para incineração de resíduos perigosos. Resíduos inventariados contém 100% de resíduos perigosos.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Materiais inventariados com 94,7% de material inerte, 5,3% de betume e 0,1% de água, para aterro industrial.
	C / Reuso	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Resíduos plásticos de demolição de construção para planta de classificação. Emissões de material particulado oriundo de desmontagem e manuseio, máquinas para movimentação em planta de classificação, demanda de eletricidade para planta de classificação, transporte para a planta, disposição final de resíduos.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Resíduos diversos contaminados com óleo	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Incineração de resíduos perigosos, com 25% de água. Material inventariado contém em média 100% de resíduos perigosos.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos em aterro industrial. Material inventariado com 94,7% de material inerte, 5,3% de betume, 0,1% de água.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte,	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia

			caminhão simples, a diesel		para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Lama de perfuração	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos de laje de fibrocimento, 0% de água, para incineração municipal.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos de perfuração, com 71,5% de água, para aterro de material residual.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Tambores contaminados	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço, 0% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de sucata de ferro.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Materiais inventariados com 94,7% de material inerte, 5,3% de betume e 0,1% de água, para aterro industrial.
	C / Reuso	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Desmantelamento mecânico de equipamentos industriais na fábrica, reciclagem.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas. Resíduos contém 1 Kg de aço.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas. Resíduos contém 1 Kg de aço.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas. Resíduos contém 1 Kg de aço.
Óleo usado	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de óleo mineral usado, 10% de água, para incineração de resíduos perigosos. Material inventariado contém 100% de óleo usado.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de lodo de refinaria, 89,5% de água, para aterro industrial. Material inventariado contém 100% de lodo de refinaria.

	D / Re-refino	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Óleo lubrificante, na fábrica. Matérias-primas e produtos químicos utilizados para produção, transporte de materiais para a fábrica, emissões estimadas para o ar e água oriundos da produção, estimativa de demanda de energia e infra-estrutura da planta (aproximação). Resíduos sólidos omitidos. A unidade funcional representa 1 Kg de óleo lubrificante líquido. Grande incerteza dos dados do processo devido a dados pobres sobre o processo de produção e falta de dados sobre as emissões de processo.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Cimento	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos de laje de fibrocimento, 0% de água, para incineração municipal.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos de perfuração, com 71,5% de água, para aterro de material residual.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Contaminados com químicos	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos, perigosos, 25% de água, para incineração. Material inventariado contém em média 100% de resíduos perigosos.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Materiais inventariados com 94,7% de material inerte, 5,3% de betume e 0,1% de água, para aterro industrial
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte,	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia

			caminhão simples, a diesel		para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Resíduo Hospitalar	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos, perigosos, 25% de água, para incineração. Material inventariado contém em média 100% de resíduos perigosos.
Pilhas e Baterias	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de capacitores, 0% de água, para incineração de resíduos perigosos. Material inventariado contém em média 2,52% de borracha, 6,59% de plásticos de bens eletrônicos de consumo, 7,74% de papel, 76,6% de capacitores (sem plásticos, borracha e papel).
	E / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição, reciclagem de baterias, Conjunto de dados representa uma mistura do tratamento de Li-Ion e NiMH.
Lâmpadas Fluorescentes	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de vidro, com 0% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de vidro.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de vidro, com 0% de água, 0%, para aterro de material inerte. Emissões diretas de material inerte do aterro (chorume) não inventariadas pois são consideradas insignificantes. Módulo contém apenas resultados específicos de processos (energia, uso da terra) e infra-estrutura.
	F / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de lâmpadas fluorescentes para reciclagem, Este conjunto de dados representa o tratamento de lâmpadas fluorescentes, incluindo infra-estrutura, consumo de energia, resíduos e emissões atmosféricas e uma estimativa das atividades de transporte.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Aerossol	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição, de alumínio, com 0% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de alumínio.
Madeira	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte,	Ecoinvent	Disposição de madeira, sem tratamento, com 20% de

			caminhão simples, a diesel		água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de madeira natural..
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de madeira, sem tratamento, com 20% de água, para aterro industrial. Material inventariado contém 100% de madeira natural..
	G / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos de madeira de demolição de construção, não tratada, para instalações de desmantelamento. Inclui processos de transporte para as instalações, energia para desmantelamento e disposição final de resíduos..
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Metal	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço, com 0% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de sucata de aço
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço, com 0% de água, para aterro de material inerte. Emissões diretas de material inerte do aterro (chorume) não inventariadas pois são consideradas insignificantes. Módulo contém apenas resultados específicos de processos (energia, uso da terra) e infra-estrutura..
	C / Reuso	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço estrutural de construção para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	H / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço estrutural de construção para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples,	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação,

			a diesel		demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Orgânico	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos biológicos, com 60% de água, para incineração municipal. Material incinerado contém 100% de resíduos biológicos.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de borra de produção de celulose, com 25% de água para aterro de material residual. Material inventariado contém 100% de borra de produção de celulose.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Papel	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de papel, com 11,2% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de papel em média.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de papel, com 11,2% de água, para aterro industrial. Material inventariado contém 100% de papel em média.
	H / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Reciclagem de papel e papelão, sem retirada de tinta. Este módulo inclui a produção de papel europeu Recyclin sem etapa de destintamento, incluindo pasta de resíduos de papel, produção de papel, energia para no local, tratamento interno de águas residuais e transportes dos materiais à fábrica de papel.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Plástico	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de mistura de plásticos, com 15,3% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de mistura de diversos materiais plásticos.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples,	Ecoinvent	Disposição de plástico, com 0% de água, para aterro de material inerte. Emissões diretas de material inerte do

			a diesel		aterro (chorume) não inventariadas pois são consideradas insignificantes. Módulo contém apenas resultados específicos de processos (energia, uso da terra) e infra-estrutura.
	H / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de gesso plástico de demolição para planta de classificação. Inclui emissões de material particulado oriundas de desmantelamento e manuseio, máquinas para manuseio, demanda de eletricidade, transporte para as plantas e disposição final de resíduos gerados no processo
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Vidro	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de vidro, com 0% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 100% de vidro.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de vidro, com 0% de água, 0%, para aterro de material inerte. Emissões diretas de material inerte do aterro (chorume) não inventariadas pois são consideradas insignificantes. Módulo contém apenas resultados específicos de processos (energia, uso da terra) e infra-estrutura.
	H / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	1) Vidro, a partir de coleta pública, não separado. Este módulo inclui o transporte para a coleta, bem como o transporte adicional para o próximo local de produção de vidro / planta de triagem. Não há processos adicionais incluídos neste módulo. 2) Vidro, a partir de coleta pública, não separado. Este módulo inclui o transporte para a coleta, bem como o transporte adicional para o próximo local de produção de vidro / planta de triagem. Não há processos adicionais incluídos neste módulo. 3) Fabricação e embalagem de vidro. Este módulo inclui os esforços materiais e energia para: preparação da fusão de vidro, fusão em fornos, alimentador, processo de fôrma, resfriamento, embalagem. Transportes dos insumos estão incluídos, bem como emissões diretas para a atmosfera, águas residuais e resíduos.

	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
Não reciclável	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos sólidos urbanos, com 22,9% de água, para incineração municipal. Material inventariado contém 21% de papel, 8% de papelão misto, 15% de plásticos, 3% de materiais laminados, 2% de embalagens laminadas, por exemplo tetra-pack; 3% de mercadorias combinadas: fraldas, 3% de vidro, 2% de têxteis, 8% de minerais, 9% de produtos naturais, 22% de material compostável, 2,65% de metais inertes; 1% de metais voláteis, 0,0065% de baterias, 0,34% de produtos eletrônicos.
	B / Aterro Industrial	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de resíduos sólidos urbanos, com 22,9% de água, para aterro sanitário. Material inventariado contém 21% de papel, 8% de papelão misto, 15% de plásticos, 3% de materiais laminados, 2% de embalagens laminadas, por exemplo tetra-pack; 3% de mercadorias combinadas: fraldas, 3% de vidro, 2% de têxteis, 8% de minerais, 9% de produtos naturais, 22% de material compostável, 2,65% de metais inertes; 1% de metais voláteis, 0,0065% de baterias, 0,34% de produtos eletrônicos
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	Óleo de cozinha	A / Incineração	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent
B / Aterro Industrial		U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de borra de produção de celulose, com 25% de água para aterro de material residual. Material inventariado contém 100% de borra de produção de celulose.

	L / Reciclagem	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Produção de óleo vegetal em planta de biomassa, a partir de resíduos de óleo de cozinha. Processo inclui a coleta de resíduos de óleos vegetais, a entrega para a estação de tratamento, o tratamento para remoção de impurezas e de água, condicionamento e armazenamento do óleo. O tratamento de efluentes é considerado, bem como o poder calorífico da biomassa e do crédito de dióxido de carbono. Fronteira do sistema é a planta de refino.
	I / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	J / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.
	K / Coprocessamento	U.S. LCI	Transporte, caminhão simples, a diesel	Ecoinvent	Disposição de aço para usina de triagem. Inclui energia para a desmontagem, máquinas para a movimentação, demanda de eletricidade, transporte para as plantas.

Fonte: Elaboração do autor.

Com o objetivo de inserir custos neste aspecto adicional de sustentabilidade, foram calculados os valores necessários para neutralizar o CO₂ equivalente gerado por cada um dos processos de destinação final, obtidos através dos bancos de dados de ICV consultados.

O seqüestro de carbono em sumidouros florestais é uma estratégia importante para remover gases de efeito estufa e mitigar a mudança climática, no entanto a sua aplicação tem sido limitada a uma pequena fração da capacidade de seu potencial biológico, devido a fatores técnicos, políticos e socioeconômicos, tais como dificuldades de estabelecer metodologias de medição, não permanência de carbono em florestas, elevados custos de oportunidade da terra, e pelos custos de transação gerados por um fraco e complexo acordo de clima no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), pois o Protocolo de Quioto não criou os incentivos para sua implementação generalizada (TORRES *et al.*, 2010).

O Protocolo de Quioto de Mudanças Climáticas tem como objetivo limitar as emissões de gases de efeito estufa dos países industrializados, e permite o comércio de emissões entre países industrializados e os países em desenvolvimento através do MDL.

O MDL é aplicável para projetos energéticos bem como para projetos de arborização e reflorestamento, quando estes são referidos como sumidouros de emissões. Enquanto para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto, 2008-2012, o mercado de MDL para sumidouros é limitado, a importância dos mesmos está no grande potencial de arborização e reflorestamento nos países em desenvolvimento, que pode ser usado para além de 2012 (BENITEZ e OBERSTEINER, 2006).

De acordo com LACERDA *et al.* (2009), os valores encontrados na literatura sobre fixação de carbono em florestas na forma de CO₂ equivalente são variáveis, e uma medida conservadora para calcular o CO₂ equivalente é considerar 140,00 kg de CO₂ equivalente por árvore aos 20 anos de idade, ou 7,14 árvores por tonelada de CO₂ equivalente em 20 anos. Segundo os autores, o próprio IPCC recomenda que seja desenvolvida para cada situação uma metodologia específica, a fim de conferir credibilidade para projetos de neutralização de carbono.

Os diversos projetos de reflorestamento da Empresa estudada tiveram um custo aproximado de R\$ 30,00 por muda plantada. O último deles incluiu:

- Restauração do isolamento físico da área, que consistiu em:
 - ✓ Colocação de mourões em concreto em todo perímetro da área de reflorestamento;
 - ✓ Colocação de arame farpado e esticadores.

- Plantio das espécies, que englobou as seguintes ações:
 - ✓ Controle de formigas;
 - ✓ Localização de focos de ocorrência e identificação de espécies;
 - ✓ Aplicação de iscas granuladas para controle;
 - ✓ Preparação da área de plantio;
 - ✓ Limpeza através de roçagem do total das áreas de plantio;
 - ✓ Localização e coroamento dos pontos de plantio;
 - ✓ Abertura de covas;
 - ✓ Correção e adubação do solo de plantio;
 - ✓ Análise de solo para dimensionamento da dosagem a ser utilizada de corretivos e adubos;
 - ✓ Aplicação de calcário dolomítico para correção da acidez do solo de plantio;
 - ✓ Aplicação de adubo orgânico e químico para estimular o desenvolvimento radicular e vegetativo das mudas.

- Plantio, com o seguinte detalhamento:
 - ✓ Fornecimento de 7.120 mudas de árvores nativas;
 - ✓ Recebimento de mudas;
 - ✓ Acondicionamento das mudas em viveiro com irrigação;
 - ✓ Distribuição das espécies conforme stand de plantio determinado em projeto;
 - ✓ Plantio conforme procedimentos descritos em projeto;
 - ✓ Tutoramento de mudas;
 - ✓ Irrigação.

- Replantio, para substituição de mudas que tiveram problemas de desenvolvimento.

- Projeto de integração comunitária, considerada uma importante estratégia para a conservação do plantio e intervenção educativa junto à comunidade.

Além disso, para garantir a implementação plena do projeto de reflorestamento, é necessária manutenção da área plantada, com custo médio de R\$ 7,00/muda/ano, que engloba as seguintes ações:

- Controle de plantas daninhas, cujo objetivo é evitar a competição das plantas por água, luz e nutrientes. Consiste em executar controle manual das plantas daninhas num raio aproximado de 50 cm das mudas, mantendo a “coroa” com cobertura morta;
- Poda de formação, para estimular o crescimento vertical. Significa eliminar brotos laterais com ferramenta afiada e esterilizada;
- Controle fitossanitário, para manter a sanidade e o pleno desenvolvimento das plantas. Consiste em:
 - ✓ Controle de insetos nocivos: Supervisão constante para identificação destes e o grau de infestação crítica para necessidade de controle. Utilizando produtos seletivos, na dosagem adequada e de baixa toxicidade para manter os inimigos naturais com baixa agressão ao meio ambiente. A supervisão é feita por técnico especializado no uso e regulagens de equipamentos de aplicação bem como o uso de equipamentos de proteção pelos aplicadores.
 - ✓ Controle preventivo de doenças: Limpeza e podas de plantas com lesões ou anomalias, cuja identificação é feita por técnico especializado.
- Adubação, cujo objetivo é proporcionar condições adequadas de nutrição das plantas, através da manutenção de fertilidade no solo, através de análise química e correção através da aplicação de adubo nitrogenado a cada 90 dias.
- Revisão tutoramento, para direcionar o crescimento retilíneo das mudas, através da revisão dos tutores, mantendo sempre o amarrio e substituição dos danificados.

Geralmente a manutenção de consolidação descrita acima é executada por um período em torno de 12 meses após o plantio. Este tempo pode ser maior caso haja muitas perdas de mudas por danos causados por terceiros, fato que é minimizado com os projetos de integração comunitária, ou ocorrências atípicas de infestação por doenças, pragas ou intempéries climáticas, como um período de estiagem muito prolongado.

O estudo de RODRIGUES *et al.* (2011), apresenta um custo para restauração de florestas tropicais na ordem de R\$ 7,00/muda, incluída sua manutenção no campo por dois anos. Este valor é aproximadamente um sexto do pago pela empresa estudada no total de seu projeto de reflorestamento (R\$ 30,00 + R\$ 7,00/ano de manutenção). Porém, considerando que no citado estudo a tarefa de reflorestamento, que inclui implantação e manutenção das áreas plantadas, foi executada pelos próprios proprietários das terras, sob supervisão técnica de especialistas da área, diferentemente do caso da empresa estudada, onde profissionais especialistas foram contratados para toda a execução e manutenção do projeto, é possível considerar que os custos utilizados no presente estudo são válidos.

Para contabilizar o CO2 equivalente gerado por cada processo de destinação final em valores financeiros em reais, considerou-se a neutralização deste através do plantio de árvores. Para isso, foi utilizada a conclusão de LACERDA *et al.* (2009), de que para cada tonelada de CO2 equivalente gerado são necessárias 7,14 árvores, e, adicionalmente, a informação da Empresa estudada de que as mudas a serem utilizadas em área de reflorestamento têm um custo médio de R\$ 30,00 cada uma. Considerando ainda que os citados autores concluem que a descrita neutralização de carbono é estabelecida com árvores aos 20 anos de idade, como medida conservadora foi estabelecido o prazo de 20 anos de manutenção da área plantada, para garantir sua segurança e longevidade, que por um custo de R\$ 7,00/muda/ano, chega-se ao valor de R\$ 170,00 por muda plantada, e conseqüentemente à seguintes equações:

$$\text{Custo da neutralização do CO2 equivalente} = 7,14 \times 170$$

$$\text{Custo da tonelada de CO2 equivalente} = \text{Massa de CO2 equivalente} \times 7,14 \times 170$$

Ainda que a manutenção de uma área reflorestada, segundo a Empresa estudada, seja ao redor de um ano, já que depois disso em situações normais a área já estaria em condições de se manter naturalmente, parece razoável considerar o custo desta manutenção durante 20 anos, que seria uma espécie de penalização por CO₂ equivalente gerado, já que a estimativa apresentada no trabalho de LACERDA *et al.* (2009) considera a quantidade total de CO₂ neutralizado para árvores com 20 anos de idade.

Para cada tipo de resíduo, foram então calculadas, através dos bancos de dados de ICV, as quantidades de CO₂ equivalente gerado pelo transporte até os destinos finais, que foi quantificado em valor financeiro conforme explicado anteriormente.

Com o inventário de resíduos gerados nas campanhas de perfuração da Empresa estudada, entre o segundo trimestre de 2009 até o final de 2010, foi possível então gerar os resultados exibidos nas Tabelas 3.5 e 3.6.

Na Tabela 3.7 são mostrados os valores de CO₂ equivalente calculados por processo de destinação final, para cada tipo de resíduo e destinação. Estes valores de CO₂ equivalente são transformados em custos no modelo de programação inteira mista, considerando também a nota de avaliação de cada destino final, obtida através de auditorias, conforme mostrado na equação de minimização de custos apresentada mais adiante. Adicionalmente, na citada Tabela 3.7 também são apresentados os custos de destinação, obtidos por SOUZA (2010) através de *sites* de bolsas de resíduos.

Tabela 3.5 – Custos para neutralizar o CO2 equivalente do transporte de resíduos gerados em 2009 aos diferentes destinos finais

TIPO DE RESÍDUO	Destino/Tratamento	Distância (km)	Nota Avaliação	2009					
				2º trimestre		3º trimestre		4º trimestre	
				TOTAL (kg)	Custo CO2 Transporte (R\$)	TOTAL (kg)	Custo CO2 Transporte (R\$)	TOTAL (kg)	Custo CO2 Transporte (R\$)
Bombonas contaminadas	A / Incineração	42	70	338	2.946,52	80	697,40	70	610,23
	C / Reuso	86	39		6.033,35		1.428,01		1.249,51
	I / Coprocessamento	90	30		6.313,97		1.494,43		1.307,63
	J / Coprocessamento	95	92		6.664,75		1.577,45		1.380,27
	K / Coprocessamento	80	70		5.612,42		1.328,38		1.162,33
Resíduos diversos contaminados com óleo	A / Incineração	42	70	15838	138.067,95	15,736	137,18	15778	137.544,90
	B / Aterro Industrial	100	70		328.733,21		326,62		327.487,85
	I / Coprocessamento	90	30		295.859,89		293,95		294.739,07
	J / Coprocessamento	95	92		312.296,55		310,29		311.113,46
	K / Coprocessamento	80	70		262.986,57		261,29		261.990,28
Lama de perfuração	A / Incineração	42	70	396462	3.456.162,08	56,638	493,74	720515	6.281.097,87
	B / Aterro Industrial	100	70		8.228.957,34		1.175,58		14.954.994,93
	I / Coprocessamento	90	30		7.406.061,61		1.058,02		13.459.495,44
	J / Coprocessamento	95	92		7.817.509,48		1.116,80		14.207.245,18
	K / Coprocessamento	80	70		6.583.165,87		940,46		11.963.995,94
Tambores contaminados	A / Incineração	42	70	2928	25.524,87	1,625	14,17	4450	38.792,93
	C / Reuso	86	39		52.265,22		29,01		79.433,14
	I / Coprocessamento	90	30		54.696,16		30,36		83.127,70
	J / Coprocessamento	95	92		57.734,83		32,04		87.745,91
	K / Coprocessamento	80	70		48.618,81		26,98		73.891,29

Óleo usado	A / Incineração	42	70	97	845,60	215	1.874,26	8734	76.138,75
	B / Aterro Industrial	100	70		2.013,33		4.462,54		181.282,73
	D / Re-refino	78	60		1.570,40		3.480,78		141.400,53
	I / Coprocessamento	90	30		1.812,00		4.016,28		163.154,46
	J / Coprocessamento	95	92		1.912,66		4.239,41		172.218,59
	K / Coprocessamento	80	70		1.610,66		3.570,03		145.026,18
Cimento	A / Incineração	42	70	705	6.145,85	0	0,00	5324	46.412,03
	B / Aterro Industrial	100	70		14.632,97		0,00		110.504,84
	I / Coprocessamento	90	30		13.169,67		0,00		99.454,35
	J / Coprocessamento	95	92		13.901,32		0,00		104.979,60
	K / Coprocessamento	80	70		11.706,37		0,00		88.403,87
Contaminados com químicos	A / Incineração	42	70	0	0,00	235	2.048,62	5238	45.662,33
	B / Aterro Industrial	100	70		0,00		4.877,66		108.719,82
	I / Coprocessamento	90	30		0,00		4.389,89		97.847,84
	J / Coprocessamento	95	92		0,00		4.633,77		103.283,83
	K / Coprocessamento	80	70		0,00		3.902,12		86.975,86
Resíduo Hospitalar	A / Incineração	42	70	0	0,00	22	191,79	0	0,00
Pilhas e Baterias	A / Incineração	42	70	0	0,00	890	7.758,59	0	0,00
	E / Reciclagem	450	51		0,00		83.127,70		0,00
	F / Reciclagem	420	65		0,00		77.585,85		0,00
	G / Reciclagem	120	36		0,00		22.167,39		0,00
	H / Reciclagem	18	35		0,00		3.325,11		0,00
	L / Reciclagem	15	30		0,00		2.770,92		0,00
Lâmpadas Fluorescentes	A / Incineração	42	70	0	0,00	189	1.647,61	0	0,00
	E / Reciclagem	450	51		0,00		17.652,96		0,00
	F / Reciclagem	420	65		0,00		16.476,10		0,00
	G / Reciclagem	120	36		0,00		4.707,46		0,00
	H / Reciclagem	18	35		0,00		706,12		0,00
	L / Reciclagem	15	30		0,00		588,43		0,00

Aerossol	A / Incineração	42	70	0	0,00	276	2.406,03	40	348,70
Madeira	A / Incineração	42	70	11082	96.607,46	6,164	53,73	20242	176.459,87
	B / Aterro Industrial	100	70		230.017,77		127,94		420.142,55
	E / Reciclagem	450	51		1.035.079,97		575,73		1.890.641,46
	F / Reciclagem	420	65		966.074,64		537,35		1.764.598,70
	G / Reciclagem	120	36		276.021,32		153,53		504.171,06
	H / Reciclagem	18	35		41.403,2		23,03		75.625,66
	L / Reciclagem	15	30		34502,67		19,19		63.021,38
	I / Coprocessamento	90	30		207.015,99		115,15		378.128,29
	J / Coprocessamento	95	92		218.516,88		121,54		399.135,42
	K / Coprocessamento	80	70		184.014,22		102,35		336.114,04
Metal	A / Incineração	42	70	30985	270.112,10	21,361	186,21	17203	149.967,35
	C / Reuso	86	39		553.086,67		381,30		307.076,01
	E / Reciclagem	450	51		2.894.058,18		1.995,16		1.606.793,06
	F / Reciclagem	420	65		2.701.120,97		1.862,15		1.499.673,52
	G / Reciclagem	120	36		771.748,85		532,04		428.478,15
	H / Reciclagem	18	35		115.762,33		79,81		64.271,72
	L / Reciclagem	15	30		96.468,61		66,51		53.559,77
Orgânico	A / Incineração	42	70	720	6.276,61	865	7.540,65	524	4.567,98
	B / Aterro Industrial	100	70		14.944,31		17.953,92		10.876,13
	I / Coprocessamento	90	30		13.449,88		16.158,53		9.788,52
	J / Coprocessamento	95	92		14.197,09		17.056,23		10.332,33
	K / Coprocessamento	80	70		11.955,44		14.363,14		8.700,91
Papel	A / Incineração	42	70	2710	23.624,46	1,917	16,71	1646	14.349,02
	B / Aterro Industrial	100	70		56.248,71		39,79		34.164,34
	E / Reciclagem	450	51		253.119,18		179,05		153.739,54
	F / Reciclagem	420	65		236.244,56		167,11		143.490,24
	G / Reciclagem	120	36		67.498,45		47,75		40.997,21
	H / Reciclagem	18	35		10.124,77		7,16		6.149,58

	L / Reciclagem	15	30		8.437,31		5,97	5.124,65	
	I / Coprocessamento	90	30		50.623,84		35,81	30.747,91	
	J / Coprocessamento	95	92		53.436,27		37,80	32.456,13	
	K / Coprocessamento	80	70		44.998,96		31,83	27.331,47	
Plástico	A / Incineração	42	70	2732	23.816,24	1,482	12,92	2519	21.959,41
	E / Reciclagem	450	51		255.174,02		138,42		235.279,41
	F / Reciclagem	420	65		238.162,42		129,19		219.594,12
	G / Reciclagem	120	36		68.046,41		36,91		62.741,18
	H / Reciclagem	18	35		10.206,96		5,54		9.411,18
	L / Reciclagem	15	30		8.505,80		4,61		7.842,65
	I / Coprocessamento	90	30		51.034,80		27,68		47.055,88
	J / Coprocessamento	95	92		53.870,07		29,22		49.670,10
	K / Coprocessamento	80	70	45.364,27	24,61	41.827,45			
Vidro	A / Incineração	42	70	171	1.490,69	143	1.246,60	357	3.112,15
	E / Reciclagem	450	51		15.971,73		13.356,47		33.344,48
	F / Reciclagem	420	65		14.906,95		12.466,04		31.121,52
	G / Reciclagem	120	36		4.259,13		3.561,73		8.891,86
	H / Reciclagem	18	35		638,87		534,26		1.333,78
	L / Reciclagem	15	30		532,39		445,22		1.111,48
	I / Coprocessamento	90	30		3.194,35		2.671,29		6.668,90
	J / Coprocessamento	95	92		3.371,81		2.819,70		7.039,39
	K / Coprocessamento	80	70	2.839,42	2.374,48	5.927,91			
Não reciclável	A / Incineração	42	70	6737	58.729,88	3943	34.373,15	8347	72.765,07
	B / Aterro Industrial	100	70		139.833,04		81.840,83		173.250,17
	I / Coprocessamento	90	30		125.849,73		73.656,75		155.925,15
	J / Coprocessamento	95	92		132.841,39		77.748,79		164.587,66
	K / Coprocessamento	80	70	111.866,43	65.472,66	138.600,13			
Óleo de cozinha	A / Incineração	42	70	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	B / Aterro Industrial	100	70		0,00		0,00		0,00

E / Reciclagem	450	51	0,00	0,00	0,00
F / Reciclagem	420	65	0,00	0,00	0,00
G / Reciclagem	120	36	0,00	0,00	0,00
H / Reciclagem	18	35	0,00	0,00	0,00
L / Reciclagem	15	30	0,00	0,00	0,00
I / Coprocessamento	90	30	0,00	0,00	0,00
J / Coprocessamento	95	92	0,00	0,00	0,00
K / Coprocessamento	80	70	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 3.6 – Custos para neutralizar o CO2 equivalente do transporte de resíduos gerados em 2010 aos diferentes destinos finais

TIPO DE RESÍDUO	Destino/Tratamento	Distância (km)	Nota Avaliação	2010							
				1º trimestre		2º trimestre		3º trimestre		4º trimestre	
				TOTAL (kg)	Custo CO2 Transporte (R\$)						
Bombonas contaminadas	A / Incineração	42	70	1358	11.838,38	4219	36.779,18	278	2.423,47	18	156,92
	C / Reuso	86	39		24.240,49		75.309,75		4.962,34		321,30
	I / Coprocessamento	90	30		25.367,96		78.812,53		5.193,15		336,25
	J / Coprocessamento	95	92		26.777,29		83.191,01		5.481,65		354,93
	K / Coprocessamento	80	70		22.549,30		70.055,58		4.616,13		298,89
Resíduos diversos contaminados com óleo	A / Incineração	42	70	0	0,00	9320	81.247,21	24777	215.993,78	11281	98.342,25
	B / Aterro Industrial	100	70		0,00		193.445,73		514.270,92		234.148,21
	I / Coprocessamento	90	30		0,00		174.101,16		462.843,82		210.733,39
	J / Coprocessamento	95	92		0,00		183.773,45		488.557,37		222.440,80
	K / Coprocessamento	80	70		0,00		154.756,59		411.416,73		187.318,57
Lama de perfuração	A / Incineração	42	70	1426420	12.434.832,90	964644	8.409.295,26	146529	1.277.368,26	416914	3.634.452,63
	B / Aterro Industrial	100	70		29.606.744,99		20.022.131,57		3.041.352,99		8.653.458,65
	I / Coprocessamento	90	30		26.646.070,49		18.019.918,41		2.737.217,69		7.788.112,78
	J / Coprocessamento	95	92		28.126.407,74		19.021.024,99		2.889.285,34		8.220.785,71
	K / Coprocessamento	80	70		23.685.395,99		16.017.705,26		2.433.082,39		6.922.766,92
Tambores contaminados	A / Incineração	42	70	9960	86.826,42	17995	156.871,62	1860	16.214,57	750	6.538,13
	C / Reuso	86	39		177.787,42		321.213,30		33.201,27		13.387,61
	I / Coprocessamento	90	30		186.056,60		336.153,47		34.745,51		14.010,29
	J / Coprocessamento	95	92		196.393,08		354.828,68		36.675,82		14.788,64
	K / Coprocessamento	80	70		165.383,65		298.803,09		30.884,90		12.453,59

Óleo usado	A / Incineração	42	70	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	B / Aterro Industrial	100	70		0,00		0,00		0,00		
	D / Re-refino	78	60		0,00		0,00		0,00		
	I / Coprocessamento	90	30		0,00		0,00		0,00		
	J / Coprocessamento	95	92		0,00		0,00		0,00		
	K / Coprocessamento	80	70		0,00		0,00		0,00		
Cimento	A / Incineração	42	70	10889	94.924,98	58925	513.679,37	16252	141.677,00	9010	78.544,78
	B / Aterro Industrial	100	70		226.011,87		1.223.046,12		337.326,19		
	I / Coprocessamento	90	30		203.410,68		1.100.741,51		303.593,57		
	J / Coprocessamento	95	92		214.711,27		1.161.893,82		320.459,88		
	K / Coprocessamento	80	70		180.809,49		978.436,90		269.860,95		
Contaminados com químicos	A / Incineração	42	70	22179	193.345,69	50861	443.381,36	0	0,00	0	0,00
	B / Aterro Industrial	100	70		460.346,88		1.055.669,90		0,00		
	I / Coprocessamento	90	30		414.312,19		950.102,91		0,00		
	J / Coprocessamento	95	92		437.329,54		1.002.886,40		0,00		
	K / Coprocessamento	80	70		368.277,50		844.535,92		0,00		
Resíduo Hospitalar	A / Incineração	42	70	7	61,02	34	296,40	0	0,00	0	0,00
Pilhas e Baterias	A / Incineração	42	70	126	1.098,41	120	1.046,10	0	0,00	0	0,00
	E / Reciclagem	450	51		11.768,64		11.208,23		0,00		
	F / Reciclagem	420	65		10.984,06		10.461,01		0,00		
	G / Reciclagem	120	36		3.138,30		2.988,86		0,00		
	H / Reciclagem	18	35		470,75		448,33		0,00		
	L / Reciclagem	15	30		392,29		373,61		0,00		
Lâmpadas Fluorescentes	A / Incineração	42	70	25	217,94	40	348,70	57	496,90	0	0,00
	E / Reciclagem	450	51		2.335,05		3.736,08		5.323,91		
	F / Reciclagem	420	65		2.179,38		3.487,00		4.968,98		
	G / Reciclagem	120	36		622,68		996,29		1.419,71		
	H / Reciclagem	18	35		93,40		149,44		212,96		
	L / Reciclagem	15	30		77,83		124,54		177,46		

Aerossol	A / Incineração	42	70	0	0,00	0	0,00	33	287,68	0	0,00
Madeira	A / Incineração	42	70	11065	96.459,27	36912	321.780,79	11038	96.223,89	8105	70.655,43
	B / Aterro Industrial	100	70		229.664,92		766.144,73		229.104,51		168.227,22
	E / Reciclagem	450	51		1.033.492,13		3.447.651,30		1.030.970,28		757.022,48
	F / Reciclagem	420	65		2.179,3779		3.217.807,88		962.238,93		706.554,32
	G / Reciclagem	120	36		275.597,90		919.373,68		274.925,41		201.872,66
	H / Reciclagem	18	35		41.339,69		137.906,05		41.238,81		30.280,90
	L / Reciclagem	15	30		34.449,74		114.921,71		34.365,68		25.234,08
	I / Coprocessamento	90	30		206.698,43		689.530,26		206.194,06		151.404,50
	J / Coprocessamento	95	92		218.181,67		727.837,50		217.649,28		159.815,86
K / Coprocessamento	80	70	183.731,93	612.915,79	183.283,61	134.581,77					
Metal	A / Incineração	42	70	26607	231.946,83	49835	434.437,19	17460	152.207,75	1682	14.662,85
	C / Reuso	86	39		474.938,75		889.561,87		311.663,491		30.023,94
	E / Reciclagem	450	51		2.485.144,62		4.654.684,19		1.630.797,35		157.102,01
	F / Reciclagem	420	65		2.319.468,31		4.344.371,91		1.522.077,53		146.628,55
	G / Reciclagem	120	36		662.705,23		1.241.249,12		434.879,29		41.893,87
	H / Reciclagem	18	35		99.405,78		186.187,37		65.231,89		6.284,08
L / Reciclagem	15	30	82.838,15	155.156,14	54.359,91	5.236,73					
Orgânico	A / Incineração	42	70	720	6.276,61	865	7.540,65	524	4.567,98	231	2.013,75
	B / Aterro Industrial	100	70		14.944,31		17.953,92		10.876,13		4.794,63
	I / Coprocessamento	90	30		13.449,88		16.158,53		9.788,52		4.315,17
	J / Coprocessamento	95	92		14.197,09		17.056,23		10.332,33		4.554,90
	K / Coprocessamento	80	70		11.955,44		14.363,14		8.700,91		3.835,71
Papel	A / Incineração	42	70	2597	22.639,38	7733	67.412,52	1929	16.816,08	929	8.098,57
	B / Aterro Industrial	100	70		53.903,28		160.505,99		40.038,29		19.282,31
	E / Reciclagem	450	51		242.564,76		722.276,97		180.172,28		86.770,37
	F / Reciclagem	420	65		226.393,78		674.125,17		168.160,80		80.985,68
	G / Reciclagem	120	36		64.683,94		192.607,19		48.045,94		23.138,77
	H / Reciclagem	18	35		9.702,59		192.607,19		7.206,89		3.470,81

	L / Reciclagem	15	30		8.085,49		24.075,90		6.005,74		2.892,35
	I / Coprocessamento	90	30		48.512,95		144.455,39		36.034,46		17.354,07
	J / Coprocessamento	95	92		51.208,12		152.480,69		38.036,37		18.318,19
	K / Coprocessamento	80	70		43.122,62		128.404,79		32.030,63		15.425,84
Plástico	A / Incineração	42	70	2823	24.609,54	5760	50.212,87	2175	18.960,59	994	8.665,21
	E / Reciclagem	450	51		263.673,59		537.995,00		203.149,15		92.841,50
	F / Reciclagem	420	65		246.095,35		502.128,67		189.605,88		86.652,07
	G / Reciclagem	120	36		70.312,96		143.465,33		4.184,41		24.757,73
	H / Reciclagem	18	35		10.546,94		21.519,80		8.125,97		3.713,66
	L / Reciclagem	15	30		8.789,12		17.933,17		6.771,64		3.094,72
	I / Coprocessamento	90	30		52.734,72		107.599,00		40.629,83		18.568,30
	J / Coprocessamento	95	92		55.664,42		113.576,72		42.887,04		19.599,87
K / Coprocessamento	80	70	46.875,31	95.643,56	36.115,41	16.505,16					
Vidro	A / Incineração	42	70	647	5.640,23	598	5.213,07	168	1.464,54	225	1.961,44
	E / Reciclagem	450	51		60.431,04		55.854,34		15.691,52		21.015,43
	F / Reciclagem	420	65		56.402,30		52.130,72		14.645,42		19.614,40
	G / Reciclagem	120	36		16.114,94		14.894,49		4.184,41		5.604,12
	H / Reciclagem	18	35		2.417,24		2.234,17		627,66		840,62
	L / Reciclagem	15	30		2.014,37		1.861,81		523,05		700,51
	I / Coprocessamento	90	30		12.086,21		11.170,87		3.138,30		4.203,09
	J / Coprocessamento	95	92		12.757,66		11.791,47		3.312,65		4.436,59
K / Coprocessamento	80	70	10.743,30	9.929,66	2.789,60	3.736,08					
Não reciclável	A / Incineração	42	70	30388	264.907,74	23825	207.694,71	3959	34.512,63	2978	25.960,75
	B / Aterro Industrial	100	70		630.732,72		494.511,22		82.172,92		61.811,31
	I / Coprocessamento	90	30		567.659,45		445.060,10		73.955,63		55.630,18
	J / Coprocessamento	95	92		599.196,08		469.785,66		78.064,28		58.720,74
	K / Coprocessamento	80	70		504.586,18		395.608,98		65.738,34		49.449,05
Óleo de cozinha	A / Incineração	42	70	370	3.225,48	875	7.627,82	282	2.458,34	0	0,00
	B / Aterro Industrial	100	70		7.679,71		18.161,48		5.853,19		0,00

E / Reciclagem	450	51	34.558,71	81.726,67	26.339,34	0,00
F / Reciclagem	420	65	32.254,79	76.278,23	24.583,38	0,00
G / Reciclagem	120	36	9.215,66	21.793,78	7.023,82	0,00
H / Reciclagem	18	35	1.382,35	3.269,07	1.053,57	0,00
L / Reciclagem	15	30	1.151,96	2.724,22	877,98	0,00
I / Coprocessamento	90	30	6.911,74	16.345,33	5.267,87	0,00
J / Coprocessamento	95	92	7.295,73	17.253,41	5.560,53	0,00
K / Coprocessamento	80	70	6.143,77	14.529,19	4.682,55	0,00

Fonte: Elaboração do autor.

Pode-se observar nas Tabelas 3.5 e 3.6, que, conforme o esperado, os custos calculados para neutralizar o CO2 equivalente gerado no transporte dos diversos tipos de resíduos aos diferentes destinos finais, são função da massa de resíduos e da distância do terminal de apoio até os destinos finais. Assim sendo, os destinos finais mais distantes serão sempre piores do ponto de vista ambiental, e conseqüentemente econômico, caso haja obrigatoriedade de pagamento pela neutralização do CO2 equivalente gerado pelo transporte rodoviário dos resíduos.

Tabela 3.7 – CO2 equivalente gerado e custos por processo de destinação

TIPO DE RESÍDUO	Destino/Tratamento	CO2 equivalente gerado por Processo (Kg)	Custo Destino (R\$)
Bombonas contaminadas	A / Incineração	1,8429	1,2
	C / Reuso	0,16076	1,2
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,8
Resíduos diversos contaminados com óleo	A / Incineração	1,8429	0,98
	B / Aterro Industrial	0,012518	1,2
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	1
Lama de perfuração	A / Incineração	0,013252	1,5
	B / Aterro Industrial	0,0086479	1,5
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	1,2
Tambores contaminados	A / Incineração	0,016015	0,9
	C / Reuso	0,29715	1,2
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Óleo usado	A / Incineração	2,8509	0,9
	B / Aterro Industrial	0,1467	0,8
	D / Re-refino	0,96009	1,2
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Cimento	A / Incineração	0,013252	0,9
	B / Aterro Industrial	0,008648	0,8
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Contaminados com químicos	A / Incineração	1,8429	0,9
	B / Aterro Industrial	0,012518	0,8

	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Resíduo Hospitalar	A / Incineração	1,8429	0,9
Pilhas e Baterias	A / Incineração	2,3033	0,9
	E / Reciclagem	0,74444	0,5
	F / Reciclagem	0,74444	0,8
	G / Reciclagem	0,74444	-0,7
	H / Reciclagem	0,74444	-1,5
	L / Reciclagem	0,74444	-1
Lâmpadas Fluorescentes	A / Incineração	0,022831	0,9
	E / Reciclagem	0,078885	0,5
	F / Reciclagem	0,078885	0,8
	G / Reciclagem	0,078885	-0,7
	H / Reciclagem	0,078885	-1,5
	L / Reciclagem	0,078885	-1
Aerossol	A / Incineração	0,031897	0,9
Madeira	A / Incineração	0,0097569	0,9
	B / Aterro Industrial	0,011417	0,8
	E / Reciclagem	0,011616	0,5
	F / Reciclagem	0,011616	0,8
	G / Reciclagem	0,011616	-0,7
	H / Reciclagem	0,011616	-1,5
	L / Reciclagem	0,011616	-1
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Metal	A / Incineração	0,042739	0,9
	C / Reuso	0,059702	1,2
	E / Reciclagem	0,059702	0,5
	F / Reciclagem	0,059702	0,8
	G / Reciclagem	0,059702	-0,7
	H / Reciclagem	0,059702	-1,5
	L / Reciclagem	0,059702	-1
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Orgânico	A / Incineração	0,026056	0,9
	B / Aterro Industrial	0,32041	1,3
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Papel	A / Incineração	0,018135	0,9
	B / Aterro Industrial	0,012518	0,8
	E / Reciclagem	0,77257	0,5
	F / Reciclagem	0,77257	0,8
	G / Reciclagem	0,77257	-0,7

	H / Reciclagem	0,77257	-1,5
	L / Reciclagem	0,77257	-1
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Plástico	A / Incineração	2,3379	0,9
	E / Reciclagem	0,016076	0,5
	F / Reciclagem	0,016076	0,8
	G / Reciclagem	0,016076	-0,7
	H / Reciclagem	0,016076	-1,5
	L / Reciclagem	0,016076	-1
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Vidro	A / Incineração	0,022831	0,9
	E / Reciclagem	0,635611	0,5
	F / Reciclagem	0,635611	0,8
	G / Reciclagem	0,635611	-0,7
	H / Reciclagem	0,635611	-1,5
	L / Reciclagem	0,635611	-1
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,9
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Não reciclável	A / Incineração	0,49922	0,9
	B / Aterro Industrial	0,019182	0,8
	I / Coprocessamento	0,059702	0,7
	J / Coprocessamento	0,059702	0,45
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4
Óleo de cozinha	A / Incineração	0,026056	0,9
	B / Aterro Industrial	0,32041	0,8
	E / Reciclagem	0,23309	0,5
	F / Reciclagem	0,23309	0,8
	G / Reciclagem	0,23309	-0,7
	H / Reciclagem	0,23309	-1,5
	L / Reciclagem	0,23309	-1
	I / Coprocessamento	0,059702	0,9
	J / Coprocessamento	0,059702	0,6
	K / Coprocessamento	0,059702	0,4

Fonte: Elaboração do autor com dados de SOUZA (2010).

3.4. DEFINIÇÃO DO MELHOR DESTINO FINAL AO INSERIR ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE

Tomando-se como base o modelo de Programação Matemática Inteira Mista proposto por SOUZA (2010), foram inseridos no mesmo os custos obtidos para a neutralização do CO₂ equivalente gerado no transporte dos resíduos para cada destino final, bem como nos processos de cada tipo de destinação. Além disso, também foram incluídas as notas obtidas por cada empresa de destino final, após as auditorias de QSMS.

A utilização do modelo matemático de Programação Inteira Mista é fundamental, tanto no trabalho de SOUZA (2010) como nesta tese, pois uma pessoa teria dificuldades para tratar o número elevado de possibilidades para os conjuntos associados ao problema, tais como os diferentes tipos de resíduos, a quantidade de empresas de transporte de resíduos que podem ser ou não contratadas, a quantidade de empresas de destinação de resíduos disponíveis, os custos relativos a cada elemento destes conjuntos e o limite de capacidade definido para cada empresa de destino final.

As variáveis adotadas no problema estudado possuem características distintas: as variáveis de fluxo são reais e determinam a quantidade de resíduo movimentado desde o terminal de apoio marítimo até os destinos finais e as variáveis inteiras determinam a quantidade de cada tipo de veículo (caminhões-caçamba, caminhões-tanque ou furgões) usada em compatibilidade com o tipo de resíduo transportado para cada uma das opções de destino final.

Nas variáveis de fluxo a quantidade pode ser fracionada, caracterizando variáveis reais. Por outro lado, como não é possível fracionar veículos, as variáveis para a quantidade de veículos são sempre inteiras.

Os tipos de variáveis do problema de minimização de custos justificam a escolha natural do modelo matemático como de programação inteira mista.

A notação e modelagem propostos para o problema são apresentados no item 3.5.

3.5. NOTAÇÃO E MODELAGEM PROPOSTOS PARA O PROBLEMA

3.5.1. CONJUNTOS

Os conjuntos envolvem os elementos como as empresas transportadoras, os tipos de veículos usados, os resíduos pertinentes a cada tipo de destinação final e as empresas de destinação final envolvidas no tratamento dos resíduos.

TRANSPORT = { t | t é um tipo de empresa transportadora contratada ou um veículo próprio de uma empresa de destino final}.

TIPOCAMINHAO = { tc | tc é um tipo de veículo } = {caminhão-caçamba, caminhão-tanque, furgão}.

RESIDUO1 = { r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Reciclagem } = {vidro, plástico, papel, metal, madeira, lâmpada, pilha e bateria, óleo de cozinha}.

RESIDUO2 = { r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Incineração } = {bombona contaminada, resíduo contaminado, lama de perfuração, tambor contaminado, cimento, madeira, metal, papel, plástico, vidro, orgânico, resíduo não reciclável, óleo usado, contaminado químico, lâmpada, pilhas e baterias, aerossol, resíduo hospitalar, óleo de cozinha}.

RESIDUO3 = { r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Aterro Industrial } = {resíduo contaminado, lama de perfuração, orgânico, resíduo não reciclável, óleo usado, cimento, contaminado químico, madeira, óleo de cozinha, papel}.

RESIDUO4 = { r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Rerrefino } = {óleo usado}.

RESIDUO5 = { r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Reuso } = { bombona contaminada, tambor contaminado, metal}.

RESIDUO6={ r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Blendagem}
= {bombona contaminada, resíduo contaminado, lama de perfuração, tambor contaminado, cimento, madeira, contaminado químico, óleo usado, orgânico, vidro plástico, papel, resíduo não reciclável, óleo de cozinha}.

DESTINO1={ d | d é um tipo de empresa do destino final de reciclagem}.

DESTINO2={ d | d é um tipo de empresa do destino final de incineração}.

DESTINO3={ d | d é um tipo de empresa do destino final de aterro industrial}.

DESTINO4={ d | d é um tipo de empresa do destino final de rerrefino}.

DESTINO5={ d | d é um tipo de empresa do destino final de reuso}.

DESTINO6={ d | d é um tipo de empresa do destino final de blendagem}.

3.5.2. PARÂMETROS

Os parâmetros envolvem os valores associados aos custos de contratação de veículos das empresas transportadoras; à distância relativa ao transporte de cada resíduo; ao custo para neutralização do CO₂ gerado pelo transporte; às capacidades das empresas de destino final; à quantidade de resíduo estocado temporariamente; ao custo de destinação associado a cada resíduo em uma dada empresa de tratamento de resíduos; à nota obtida por cada destino final como resultado do processo de auditoria e ao custo para neutralização do CO₂ gerado pelo processo de destino final de cada tipo de resíduo.

CAPTRANSP_{t,tc} capacidade dos veículos da transportadora t ∈ TRANSPORT, do tipo tc ∈ TIPOCAMINHAO usados para o transporte dos resíduos.

CUSTODESTINO1_{r,d} custo variável de destinação do resíduo r ∈ RESIDUO1 ao destino d ∈ DESTINO1;

CUSTODESTINO2 _{r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO2 ao destino $d \in$ DESTINO2;
CUSTODESTINO3 _{r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO3 ao destino $d \in$ DESTINO3;
CUSTODESTINO4 _{r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO4 ao destino $d \in$ DESTINO4;
CUSTODESTINO5 _{r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO5 ao destino $d \in$ DESTINO5;
CUSTODESTINO6 _{r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO6 ao destino $d \in$ DESTINO6;
CUSTOKM	custo variável, associado à distância percorrida por quilômetro, na viagem de cada tipo de veículo, conforme Tabela 3.8;

Tabela 3.8 – Custos de transporte

EMPRESA DE TRANSPORTE	TIPO DE VEÍCULO	CUSTO (R\$/Caminhão)	CAPACIDADE (Kg)
Transportadora 1	Tanque	160,00	10.000
	Caçamba	200,00	10.000
	Furgão	100,00	500
Transportadora 2	Tanque	175,00	10.000
	Caçamba	190,00	10.000
	Furgão	90,00	500
Transportadora 3	Tanque	180,00	10.000
	Caçamba	190,00	10.000
	Furgão	95,00	500
Caminhão próprio Empresa H – Reciclagem	Caçamba	0,00	10.000
Caminhão próprio Empresa D – Rerrefino	Tanque	0,00	10.000

Fonte: SOUZA (2010).

CUSTONEUTCO2	custo fixo de neutralização do CO2 equivalente;
CUSTOTRANSPORT _{t,tc}	custo fixo de requisitar um caminhão da transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, do tipo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$;
DISTANCIA1 _r	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO1}$;
DISTANCIA2 _r	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO2}$;
DISTANCIA3 _r	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO3}$;
DISTANCIA4 _r	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO4}$;
DISTANCIA5 _r	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$;
DISTANCIA6 _r	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$;
DESTINOREC _d	capacidade das empresas $d \in \text{DESTINO1}$ do destino final Reciclagem;
DESTINOINC _d	capacidade das empresas $d \in \text{DESTINO2}$ do destino final Incineração;
DESTINOATERRO _d	capacidade das empresas $d \in \text{DESTINO3}$ do destino final Aterro Industrial;
DESTINORERREFINO _d	capacidade das empresas $d \in \text{DESTINO4}$ do destino final Rerrefino;

DESTINOREUSO _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO5 do destino final Reuso;
DESTINOBLEND _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO6 do destino final Blendagem;
NOTADESTINO1 _d	notas obtidas pelas empresas $d \in$ DESTINO1 do destino final Reciclagem, através do processo de auditoria;
NOTADESTINO2 _d	notas obtidas pelas empresas $d \in$ DESTINO2 do destino final Incineração, através do processo de auditoria;
NOTADESTINO3 _d	notas obtidas pelas empresas $d \in$ DESTINO3 do destino final Aterro Industrial, através do processo de auditoria;
NOTADESTINO4 _d	notas obtidas pelas empresas $d \in$ DESTINO4 do destino final Rerrefino, através do processo de auditoria;
NOTADESTINO5 _d	notas obtidas pelas empresas $d \in$ DESTINO5 do destino final Reuso, através do processo de auditoria;
NOTADESTINO6 _d	notas obtidas pelas empresas $d \in$ DESTINO6 do destino final Blendagem, através do processo de auditoria;
QUANTRECICLAGEM _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO1;
QUANTINCINERA _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO2;
QUANTATERRO _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO3;
QUANTRERREFINO _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO4;

QUANTREUSO _r	quantidade do resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$;
QUANTBLENDAGEM _r	quantidade do resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$;
QUANTBOMBONA	quantidade do resíduo bombona contaminada;
QUANTRESIDUO	quantidade do resíduo contaminado com óleo;
QUANTLAMA	quantidade do resíduo lama de perfuração;
QUANTMADEIRA	quantidade do resíduo madeira não contaminada;
QUANTTAMBOR	quantidade do resíduo tambor contaminado;
QUANTOLEO	quantidade do resíduo óleo usado;
QUANTCIMENTO	quantidade do resíduo cimento;
QUANTMETAL	quantidade do resíduo metal;
QUANTORGANICO	quantidade do resíduo orgânico;
QUANTPAPEL	quantidade do resíduo papel;
QUANTPLASTICO	quantidade do resíduo plástico;
QUANTVIDRO	quantidade do resíduo vidro;
QUANTNAORECICLAVEL	quantidade do resíduo não reciclável;
QUANTQUIMICO	quantidade do resíduo contaminado químico;
QUANTHOSPITALAR	quantidade do resíduo hospitalar;
QUANTPILHA	quantidade do resíduo pilha e bateria;
QUANTLAMPADA	quantidade do resíduo lâmpada;

QUANTAEROSSOL	quantidade do resíduo aerossol;
QUANTOLEOCOZINHA	quantidade do resíduo óleo de cozinha;

3.5.3. VARIÁVEIS DE DECISÃO

As variáveis de fluxo compreendem o volume de resíduo destinado para as empresas de tratamento, onde essa quantidade pode ser fracionada, caracterizando variáveis reais.

As variáveis da quantidade de veículos determinam a quantidade de caminhões-caçamba, caminhões-tanque ou furgões usados no transporte de resíduos em cada tipo de destinação final. As variáveis para a quantidade de veículos são inteiras. Estas variáveis configuram o modelo matemático como programação inteira mista (MIP, da sigla em inglês).

$\text{fluxo}_{1,d}$	variável de fluxo real, para o destino final blendagem, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO1}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO1}$;
$\text{fluxo}_{2,d}$	variável de fluxo real, para o destino final reciclagem, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO2}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO2}$;
$\text{fluxo}_{3,d}$	variável de fluxo real, para o destino final incineração, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO3}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO3}$;
$\text{fluxo}_{4,d}$	variável de fluxo real, para o destino final aterro industrial, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO4}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO4}$;
$\text{fluxo}_{5,d}$	variável de fluxo real, para o destino final rerrefino, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO5}$;
$\text{fluxo}_{6,d}$	variável de fluxo real, para o destino final beneficiamento do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO6}$;

- $qdcaminhao1_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de reciclagem, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO1}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO1}$;
- $qdcaminhao2_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de incineração, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO2}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO2}$;
- $qdcaminhao3_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de aterro industrial, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO3}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO3}$;
- $qdcaminhao4_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de rerrefino, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO4}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO4}$;
- $qdcaminhao5_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de reuso, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO5}$;
- $qdcaminhao6_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de caminhões para o transporte de resíduos destinados a empresas de blendagem, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de caminhão $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO6}$.

3.5.4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A função objetivo tem o escopo de minimizar o somatório dos custos de transporte dos resíduos e destinação final (reciclagem, aterro industrial, incineração, rerrefino e coprocessamento). Desde a primeira até a sexta parcela são representados os somatórios dos custos totais de transporte associados a cada tipo de destino final. Da sétima a décima segunda parcela, tem-se os somatórios dos custos de destinação final para cada tipo de destinação final.

Minimizar $Z =$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{d \in \text{DESTINO}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA1}_r \times \text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} + \\
 & \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \sum_{d \in \text{DESTINO2}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA2}_r \times \text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} + \\
 & \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \sum_{d \in \text{DESTINO3}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA3}_r \times \text{qdcaminhao3}_{t,tc,r,d} + \\
 & \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO4}} \sum_{d \in \text{DESTINO4}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA4}_r \times \text{qdcaminhao4}_{t,tc,r,d} + \\
 & \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO5}} \sum_{d \in \text{DESTINO5}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA5}_r \times \text{qdcaminhao5}_{t,tc,r,d} + \\
 & \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO6}} \sum_{d \in \text{DESTINO6}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA6}_r \times \text{qdcaminhao6}_{t,tc,r,d} + \\
 & \sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \sum_{d \in \text{DESTINO1}} \text{CO2PROCDESTINO1}_{r,d} \times \text{CUSTONEUTCO2} \times (1 + (100 - \text{NOTADESTINO1}_d) / 100) \\
 & \times \text{CUSTODESTINO1}_{r,d} \times \text{fluxo1}_{r,d} + \\
 & \sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \sum_{d \in \text{DESTINO2}} \text{CO2PROCDESTINO2}_{r,d} \times \text{CUSTONEUTCO2} \times (1 + (100 - \text{NOTADESTINO2}_d) / 100) \\
 & \times \text{CUSTODESTINO2}_{r,d} \times \text{fluxo2}_{r,d} + \\
 & \sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \sum_{d \in \text{DESTINO3}} \text{CO2PROCDESTINO3}_{r,d} \times \text{CUSTONEUTCO2} \times (1 + (100 - \text{NOTADESTINO3}_d) / 100) \\
 & \times \text{CUSTODESTINO3}_{r,d} \times \text{fluxo3}_{r,d} + \\
 & \sum_{r \in \text{RESIDUO4}} \sum_{d \in \text{DESTINO4}} \text{CO2PROCDESTINO4}_{r,d} \times \text{CUSTONEUTCO2} \times (1 + (100 - \text{NOTADESTINO4}_d) / 100) \\
 & \times \text{CUSTODESTINO4}_{r,d} \times \text{fluxo4}_{r,d} + \\
 & \sum_{r \in \text{RESIDUO5}} \sum_{d \in \text{DESTINO5}} \text{CO2PROCDESTINO5}_{r,d} \times \text{CUSTONEUTCO2} \times (1 + (100 - \text{NOTADESTINO5}_d) / 100) \\
 & \times \text{CUSTODESTINO5}_{r,d} \times \text{fluxo5}_{r,d} + \\
 & \sum_{r \in \text{RESIDUO6}} \sum_{d \in \text{DESTINO6}} \text{CO2PROCDESTINO6}_{r,d} \times \text{CUSTONEUTCO2} \times (1 + (100 - \text{NOTADESTINO6}_d) / 100) \\
 & \times \text{CUSTODESTINO6}_{r,d} \times \text{fluxo6}_{r,d}
 \end{aligned}$$

O modelo de programação inteira mista possui as seguintes restrições, que são descritas abaixo.

Os conjuntos de restrições, representadas pelas equações (R1) até (R6) garantem que os limites de capacidade dos destinos finais não serão excedidos.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \text{fluxo2}_{r,d} \leq \text{DESTINOREC}_d; \forall d \in \text{DESTINO2} \quad (\text{R1})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \text{fluxo3}_{r,d} \leq \text{DESTINOINC}_d; \forall d \in \text{DESTINO3} \quad (\text{R2})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO4}} \text{fluxo4}_{r,d} \leq \text{DESTINOATE_RRO}_d; \forall d \in \text{DESTINO4} \quad (\text{R3})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO5}} \text{fluxo5}_{r,d} \leq \text{DESTINORER_REFINO}_d; \forall d \in \text{DESTINO5} \quad (\text{R4})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO6}} \text{fluxo6}_{r,d} \leq \text{DESTINOREUSO}_d; \forall d \in \text{DESTINO6} \quad (\text{R5})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \text{fluxo1}_{r,d} \leq \text{DESTINOBLE_ND}_d; \forall d \in \text{DESTINO1} \quad (\text{R6})$$

Os conjuntos de restrições (R7) até (R12) garantem que todos os resíduos armazenados temporariamente no terminal de apoio marítimo serão transportados para o respectivo destino final.

$$\sum_{d \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d} \geq \text{QUANTRECIC_LAGEM}_r; \forall r \in \text{RESIDUO2} \quad (\text{R7})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d} \geq \text{QUANTINCIN_ERA}_r; \forall r \in \text{RESIDUO3} \quad (\text{R8})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO4}} \text{fluxo4}_{r,d} \geq \text{QUANTATERR}_r; \forall r \in \text{RESIDUO4} \quad (\text{R9})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO5}} \text{fluxo5}_{r,d} \geq \text{QUANTRERRE_FINO}_r; \forall r \in \text{RESIDUO5} \quad (\text{R10})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d} \geq \text{QUANTREUSO}_r; \forall r \in \text{RESIDUO6} \quad (\text{R11})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d} \geq \text{QUANTBLEND_AGEM}_r; \forall r \in \text{RESIDUO1} \quad (\text{R12})$$

As restrições (R13) a (R31) compartilham os fluxos de resíduos em diferentes tipos de tratamento.

A restrição (R13) compartilha o fluxo do resíduo Bombona Contaminada aos tratamentos Incineração, Reuso e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d5 \in \text{DESTINO5}} \text{fluxo5}_{r,d5} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTBOMBONA};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Bombona contaminada}$

(R13)

A restrição (R14) compartilha o fluxo dos Resíduos Diversos Contaminados com Óleo para os destinos finais Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTRESIDUO};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Resíduos diversos contaminados com óleo}$

(R14)

A restrição (R15), compartilha o fluxo do resíduo Lama de Perfuração para os destinos finais Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTLAMA};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Lama de perfuração}$

(R15)

A restrição (R16), compartilha o fluxo do resíduo Tambor Contaminado para os destinos finais Incineração, Reuso e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d5 \in \text{DESTINO5}} \text{fluxo5}_{r,d5} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTTAMBOR};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Tambor contaminado}$

(R16)

A restrição (R17), compartilha o fluxo do resíduo Óleo Usado para os destinos finais Incineração, Aterro, Rerrefino e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d4 \in \text{DESTINO4}} \text{fluxo4}_{r,d4} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTOLEO};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Óleo usado}$

(R17)

A restrição (R18), compartilha o fluxo do resíduo Cimento para os destinos finais Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTCIMENTO};$$

$$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Cimento} \quad (\text{R18})$$

A restrição (R19), compartilha o fluxo do resíduo Contaminado com Químicos para os destinos finais Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTQUIMICO};$$

$$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Contaminado com químicos} \quad (\text{R19})$$

A restrição (R20), compartilha o fluxo do Resíduo Hospitalar para o destino final Incineração:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} = \text{QUANTHOSPITALAR};$$

$$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Resíduo hospitalar} \quad (\text{R20})$$

A restrição (R21), compartilha o fluxo do resíduo Pilha e Bateria para os destinos finais Reciclagem e Incineração:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} = \text{QUANTPILHA};$$

$$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Pilha e bateria} \quad (\text{R21})$$

A restrição (R22), compartilha o fluxo do resíduo Lâmpada para os destinos finais Reciclagem e Incineração:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} = \text{QUANTLAMPADA};$$

$$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Lâmpada} \quad (\text{R22})$$

A restrição (R23), compartilha o fluxo do resíduo Aerossol para o destino final Incineração:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} = \text{QUANTAEROSSOL}; \quad (\text{R23})$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Aerossol}$

A restrição (R24), compartilha o fluxo do resíduo Madeira Não Contaminada para os destinos finais Reciclagem, Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTMADEIRA};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Madeira não contaminada}$

(R24)

A restrição (R25), compartilha o fluxo do resíduo Metal para os destinos finais Reciclagem, Incineração, e Reuso:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d5 \in \text{DESTINO5}} \text{fluxo5}_{r,d5} = \text{QUANTMETAL}; \quad (\text{R25})$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Metal}$

A restrição (R26), compartilha o fluxo do resíduo Orgânico para os destinos finais Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTORGANICO}; \quad (\text{R26})$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Orgânico}$

A restrição (R27), compartilha o fluxo do resíduo Papel para os destinos finais Reciclagem, Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTPAPEL};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Papel}$

(R27)

A restrição (R28), compartilha o fluxo do resíduo Plástico para os destinos finais Reciclagem, Incineração e Blendagem:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTPLASTICO};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Plástico}$

(R28)

A restrição (R29), compartilha o fluxo do resíduo Vidro para os destinos finais Reciclagem, Incineração e Blendagem:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTVIDRO};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Vidro}$

(R29)

A restrição (R30), compartilha o fluxo do resíduo Não Reciclável para os destinos finais Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTNAORECICLAVEL};$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Não reciclável}$

(R30)

A restrição (R31), compartilha o fluxo do resíduo Papel para os destinos finais Reciclagem, Incineração, Aterro e Blendagem:

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d3 \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d3} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6}$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Óleo de cozinha}$

$= \text{QUANTOLEOCOZINHA};$

(R31)

As restrições (R32) a (R41) restringem os transportes dos diferentes resíduos aos tipos de veículos mais adequados para tal fim.

A restrição (R32), para o tipo de destino final Reciclagem, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao caminhão tipo caçamba, das empresas transportadoras contratadas, com exceção do destino final com processo Venda.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \text{fluxo1}_{r,d}, \quad (\text{R32})$$

$\forall d \in \text{DESTINO1} \mid d$ é uma empresa de destino final sem caminhão próprio

A restrição (R33), para o tipo de destino final Reciclagem, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao caminhão tipo caçamba, com processo Venda.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT} \\ t \text{ é um caminhão} \\ \text{próprio}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \text{fluxo1}_{r,d}, \quad (\text{R33})$$

$\forall d \in \text{DESTINO2} \mid d$ é uma empresa de destino final com caminhão próprio

A restrição (R34), para o tipo de destino final Incineração, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao caminhão tipo caçamba, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINH} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \text{fluxo2}_{r,d}, \quad (\text{R34})$$

$\forall d \in \text{DESTINO2}$

A restrição (R35), para o tipo de destino final Incineração, restringe o transporte dos resíduos líquidos ao caminhão tipo tanque, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINH} \\ tc = \text{tanque}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \text{fluxo2}_{r,d}, \quad (\text{R35})$$

$\forall d \in \text{DESTINO2}$

A restrição (R36), para o tipo de destino final Aterro Industrial, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao caminhão tipo caçamba, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINH} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao3}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \text{fluxo3}_{r,d}, \quad (\text{R36})$$

$\forall d \in \text{DESTINO3}$

A restrição (R37), para o tipo de destino final Aterro Industrial, restringe o transporte dos resíduos líquidos ao caminhão tipo tanque, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINH AOI} \\ tc = \text{tanque}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT I} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao } 3_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \text{fluxo3}_{r,d}, \quad (\text{R37})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO3}$$

A restrição (R38), para o tipo de destino final Rerrefino, restringe o transporte dos resíduos líquidos ao caminhão tipo tanque, pertencente à empresa "D".

$$\sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT I} \\ t \text{ é um caminhão} \\ \text{próprio da empresa} \\ \text{"D"}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao } 4_{t,tc,r,d} \geq \text{fluxo4}_{r,d}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINH AOI} \quad (\text{R38})$$

$$tc = \text{tanque}, \forall r \in \text{RESIDUO4}, \forall d \in \text{DESTINO4} \mid d \text{ é a empresa "D"}$$

A restrição (R39), para o tipo de destino final Reuso, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao caminhão tipo caçamba, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINH AOI} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT I} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao } 5_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO5}} \text{fluxo5}_{r,d}, \quad (\text{R39})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO5}$$

A restrição (R40), para o destino final Blendagem, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao caminhão tipo caçamba, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO6}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINH AOI} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT I} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao } 6_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO6}} \text{fluxo6}_{r,d}, \quad (\text{R40})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO6}$$

A restrição (R41), para o destino final Blendagem, restringe o transporte dos resíduos Lama de Perfuração e Óleo Usado ao caminhão tipo tanque, das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORTI} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao6}_{t,tc,r,d} \geq \text{fluxo6}_{r,d}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \quad (\text{R41})$$

$tc = \text{tanque}, \forall r \in \text{RESIDUO6} \mid r = \text{Lama de perfuração ou Óleo usado}, \forall d \in \text{DESTINO6}$

O conjunto de restrições (R42) até (R47) garantem a integralidade das variáveis da quantidade de veículos:

$$\text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO1}, \quad (\text{R42})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO1}$$

$$\text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO2}, \quad (\text{R43})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO2}$$

$$\text{qdcaminhao3}_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO3}, \quad (\text{R44})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO3}$$

$$\text{qdcaminhao4}_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO4}, \quad (\text{R45})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO4}$$

$$\text{qdcaminhao5}_{t,tc,r} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO5}, \quad (\text{R46})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO5}$$

$$\text{qdcaminhao6}_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO6}, \quad (\text{R47})$$

$$\forall d \in \text{DESTINO6}$$

O conjunto de restrições (R48) até (R53) garantem a não negatividade das variáveis de fluxo:

$$\text{fluxo1}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO1}, \forall d \in \text{DESTINO1} \quad (\text{R48})$$

$$\text{fluxo2}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO2}, \forall d \in \text{DESTINO2} \quad (\text{R49})$$

$$\text{fluxo3}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO3}, \forall d \in \text{DESTINO3} \quad (\text{R50})$$

$$\text{fluxo4}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO4}, \forall d \in \text{DESTINO4} \quad (\text{R51})$$

$$\text{fluxo5}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO5}, \forall d \in \text{DESTINO5} \quad (\text{R52})$$

$$\text{fluxo6}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO6}, \forall d \in \text{DESTINO6} \quad (\text{R53})$$

4. RESULTADOS

A formulação do modelo de programação inteira mista proposta em Mosel é apresentada no Apêndice 7.1, e os resultados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 comparam-se os resultados do modelo com os resultados consolidados das informações sobre geração e destinação final dos resíduos sólidos dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo referentes ao ano de 2009, conforme publicados na Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11.

O modelo proposto foi implementado em Xpress Mosel[®] 3.2.3 e otimizado pelo Xpress-MP Optimizer[®] 22.01.09, dentro do ambiente Xpress-IVE[®] 7.2 32-bit. Os testes foram executados em um computador HP EliteBook 6930p com processador Intel[®] Core 2 Duo[™] de 2,53 GHz, com 3,00 GB de RAM, usando o sistema operacional Microsoft[®] Windows 7 Enterprise.

O banco de dados usado para armazenar os dados de entrada abordados nesta tese foi o Microsoft[®] Office Access 2007.

Considerando a quantidade de empresas transportadoras, empresas de destinação final, tipos de veículos e tipos de resíduos citados anteriormente, a quantidade de variáveis de fluxo é 115, e para a quantidade de caminhões há 1044 variáveis, totalizando 1159 variáveis. Foram geradas 44 restrições.

Tabela 4.1 - Resultados de 2009

RESULTADOS - DESTINAÇÃO E TRANSPORTE		2 Trimestre 2009		3 Trimestre 2009		4 Trimestre 2009	
Destinação-Reciclagem		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Resíduo	Destino						
Vidro	Empresa H - Reciclagem	171,00	-32.652,00	143,00	-27.305,50	357,00	-68.168,20
Vidro	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa G - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	1,48	-7,16	0,00	0,00
Plástico	Empresa E - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa L - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	2.519,00	-8.356,07
Papel	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel	Empresa H - Reciclagem	2.710,00	-628.969,00	1,92	-444,92	1.646,00	-382.023,00
Metal	Empresa G - Reciclagem	10.000,00	-238.279,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metal	Empresa H - Reciclagem	9.039,00	-464.343,00	21,36	-1.097,34	9.917,00	-509.447,00
Metal	Empresa L - Reciclagem	11.920,00	-420.599,00	0,00	0,00	7.286,00	-257.088,00
Madeira	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	6,16	-21,51	0,00	0,00
Madeira	Empresa G - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	10.000,00	-16.186,20
Madeira	Empresa E - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira	Empresa L - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	2.115,00	-5.069,48
Lâmpada	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	189,00	-4.478,97	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa G - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa L - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pilha e bateria	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	890,00	-199.041,00	0,00	0,00
Óleo de cozinha	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		33.840,00	-1.784.842,00	1.252,92	-232.396,40	33.840,00	-1.246.337,95
Transporte-Reciclagem- (Caçamba)		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino						

Transportadora 1	Empresa E - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Empresa G - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 3	Empresa G - Reciclagem	1,00	45.600,00	0,00	0,00	1,00	45.600,00
Transportadora 3	Empresa L - Reciclagem	2,00	11.400,00	0,00	0,00	2,00	11.400,00
Caminhão Próprio	Empresa H - Reciclagem	2,00	0,00	1,00	0,00	2,00	0,00
TOTAIS		5,00	57.000,00	1,00	0,00	5,00	57.000,00
Destinação-Incineração							
Resíduo	Destino	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Bombona contaminada	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lama perfuração	Empresa A - Incineração	396.462,00	1.243.550,00	56,64	177,65	411.859,00	1.291.850,00
Tambor contaminado	Empresa A - Incineração	2.928,00	6.659,34	1,63	3,70	0,00	0,00
Cimento	Empresa A - Incineração	705,00	1.326,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira	Empresa A - Incineração	11.082,00	15.355,50	0,00	0,00	401,00	555,64
Metal	Empresa A - Incineração	26,00	59,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Orgânico	Empresa A - Incineração	720,00	2.664,24	865,00	3.200,79	0,00	0,00
Não reciclável	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo usado	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Contaminado químico	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aerossol	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	276,00	1.250,24	40,00	181,19
Resíduo hospitalar	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	22,00	5.757,81	0,00	0,00
Óleo de cozinha	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		411.923,00	1.269.615,00	1.221,26	10.390,19	412.300,00	1.292.586,83
Transporte-Incineração							
Transportadora	Destino	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora 1	Empresa A - Incineração	40,00	537.600,00	1,00	13.440,00	42,00	564.480,00

(Tanque)							
Transportadora 1 (Caçamba)	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 2 (Caçamba)	Empresa A - Incineração	2,00	31.920,00	1,00	15.960,00	1,00	15.960,00
Transportadora 2 (Furgão)	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	1,00	7.560,00	0,00	0,00
TOTAIS		42,00	569.520,00	3,00	36.960,00	43,00	580.440,00
Destinação-Aterro							
Resíduo	Destino	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Bombona contaminada	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa B - Aterro	7.457,00	17.675,50	0,00	0,00	7.457,00	17.675,50
Lama perfuração	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tambor contaminado	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cimento	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Contaminado químico	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aerossol	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo não reciclável	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		7.457,00	17.675,50	0,00	0,00	7.457,00	17.675,50
Transporte-Aterro							
Transportadora	Destino	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora 1 (Tanque)	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1 (Caçamba)	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 3 (Caçamba)	Empresa B - Aterro	1,00	38.000,00	0,00	0,00	1,00	38.000,00
TOTAIS		1,00	38.000,00	0,00	0,00	1,00	38.000,00
Destinação-Rerrefino		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)

Resíduo	Destino						
Óleo usado	Empresa D - Rerrefino	97,00	18.990,70	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		97,00	18.990,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte-Rerrefino-(Tanque)		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino						
Caminhão Próprio	Empresa D - Rerrefino	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Destinação-Reuso		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Resíduo	Destino						
Metal	Empresa C - Reuso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte-Reuso		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino						
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Destinação-Coprocessamento		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Resíduo	Destino						
Lama perfuração	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lama perfuração	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	308.656,00	2.174.090,00
Lama perfuração	Empresa I - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metal	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bombona contaminada	Empresa J - Coprocessamento:	338,00	2.380,78	0,00	0,00	70,00	493,06
Bombona contaminada	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	80,00	602,92	0,00	0,00
Bombona contaminada	Empresa I - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	15,74	148,24	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa J - Coprocessamento	8.381,00	59.033,40	0,00	0,00	8.321,00	58.610,80

Resíduo contaminado	Empresa I - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tambor contaminado	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	4.450,00	16.768,70
Óleo usado	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	215,00	810,17	8.734,00	32.911,90
Cimento	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	5.324,00	20.062,10
Contaminado químico	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	235,00	885,54	5.238,00	19.738,10
Madeira	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	7.726,00	29.113,50
Metal	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orgânico	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	524,00	1.974,56
Plástico	Empresa K - Coprocessamento	2.732,00	10.294,90	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo não reciclável	Empresa J - Coprocessamento	1.281,00	4.511,50	0,00	0,00	1.609,00	5.666,68
Resíduo não reciclável	Empresa K - Coprocessamento	5.456,00	20.559,60	3.943,00	14.858,20	6.738,00	25.390,40
Óleo de cozinha	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		18.188,00	96.780,18	4.488,74	17.305,07	357.390,00	2.384.819,80
Transporte-Coprocessamento		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino						
Transportadora 1	Tanque-> Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	31,00	942.400,00
Transportadora 1	Tanque-> Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	1,00	25.600,00	1,00	25.600,00
Transportadora 1	Caçamba-> Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Caçamba-> Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Tanque-> Empresa I - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 2	Caçamba-> Empresa J - Coprocessamento	1,00	36.100,00	0,00	0,00	1,00	36.100,00
Transportadora 2	Caçamba-> Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 3	Caçamba-> Empresa J -	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Coprocessamento						
Transportadora 3	Caçamba-> Empresa K - Coprocessamento	1,00	30.400,00	1,00	30.400,00	3,00	91.200,00
TOTAIS		2,00	66.500,00	2,00	56.000,00	36,00	1.095.300,00
CUSTOS TRANSPORTE E DESTINAÇÃO		CUSTOS TOTAIS (R\$)		CUSTOS TOTAIS (R\$)		CUSTOS TOTAIS (R\$)	
Custo transporte reciclagem		57.000,00		0,00		57.000,00	
Custo transporte incineração		569.520,00		36.960,00		580.440,00	
Custo transporte aterro		38.000,00		0,00		38.000,00	
Custo transporte rerrefino		0,00		0,00		0,00	
Custo transporte reuso		0,00		0,00		0,00	
Custo transporte Coprocessamento		66.500,00		56.000,00		1.095.300,00	
CUSTO TRANSPORTE TOTAL		731.020,00		92.960,00		1.770.740,00	
Custo destino reciclagem		0,00		0,00		0,00	
Custo destino reciclagem negativo		-1.784.842,09		-232.396,15		-1.246.337,86	
Custo destino incineração		1.269.619,23		10.390,18		1.292.585,77	
Custo destino aterro		17.675,46		0,00		17.675,46	
Custo destino rerrefino		18.990,66		0,00		0,00	
Custo destino reuso		0,00		0,00		0,00	
Custo destino Coprocessamento		96.780,13		17.305,07		2.384.817,25	
CUSTO DESTINAÇÃO TOTAL		-381.776,61		-204.700,90		2.448.740,62	
TOTAL GERAL		349.243,39		-111.740,89		4.219.480,62	

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 4.2 - Resultados de 2010

RESULTADOS - DESTINAÇÃO E TRANSPORTE		1 Trimestre 2010		2 Trimestre 2010		3 Trimestre 2010		4 Trimestre 2010	
Destinação-Reciclagem		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Resíduo	Destino								
Vidro	Empresa H - Reciclagem	647,00	-123.543,00	598,00	-114.187,00	168,00	-32.079,20	225,00	-42.963,20
Vidro	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa G - Reciclagem	2.823,00	-6.323,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	994,00	-4.800,50
Plástico	Empresa E - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico	Empresa L - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	2.175,00	-7.214,95	0,00	0,00
Papel	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel	Empresa H - Reciclagem	2.597,00	-602.743,00	7.733,00	-1.794.770,00	1.929,00	-447.705,00	929,00	-215.613,00
Metal	Empresa G - Reciclagem	6.507,00	-155.048,00	11.920,00	-284.028,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metal	Empresa H - Reciclagem	8.180,00	-420.215,00	2.594,00	-133.257,00	9.541,00	-490.131,00	1.682,00	-86.406,10
Metal	Empresa L - Reciclagem	11.920,00	-420.599,00	11.920,00	-420.599,00	7.919,00	-279.423,00	0,00	0,00
Madeira	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8.090,00	-28.231,10
Madeira	Empresa G - Reciclagem	645,00	-1.044,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira	Empresa E - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira	Empresa L - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	1.769,00	-4.240,14	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa H - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa G - Reciclagem	25,00	-274,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa L - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	57,00	-927,82	0,00	0,00
Pilha e bateria	Empresa H - Reciclagem	126,00	-28.178,80	120,00	-26.837,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo de cozinha	Empresa H - Reciclagem	370,00	-25.908,80	875,00	-61.270,90	282,00	-19.746,70	0,00	0,00
TOTAIS		33.840,00	-1.783.878,21	35.760,00	-2.834.948,90	23.840,00	-1.281.467,81	11.920,00	-378.013,90
Transporte-Reciclagem- (Caçamba)		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino								

Transportadora 1	Empresa E - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Empresa F - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Empresa G - Reciclagem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 3	Empresa G - Reciclagem	1,00	45.600,00	2,00	91.200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 3	Empresa L - Reciclagem	2,00	11.400,00	2,00	11.400,00	2,00	11.400,00	0,00	0,00
Caminhão Próprio	Empresa H - Reciclagem	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00
TOTAIS		5,00	57.000,00	6,00	102.600,00	4,00	11.400,00	2,00	0,00
Destinação-Incineração									
Resíduo	Destino	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Bombona contaminada	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lama perfuração	Empresa A - Incineração	412.293,00	1.293.210,00	387.600,00	1.215.760,00	146.529,00	459.607,00	410.000,00	1.286.020,00
Tambor contaminado	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cimento	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	10.698,00	20.133,40	0,00	0,00
Madeira	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	1.225,00	1.697,39	9.269,00	12.843,30	0,00	0,00
Metal	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	23.401,00	53.222,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Orgânico	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Não reciclável	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo usado	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Contaminado químico	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lâmpada	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	40,00	129,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Aerossol	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	33,00	149,49	0,00	0,00
Resíduo hospitalar	Empresa A - Incineração	7,00	1.832,03	34,00	8.898,44	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo de cozinha	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		412.300,00	1.295.042,03	412.300,00	1.279.707,92	166.529,00	492.733,19	410.000,00	1.286.020,00
Transporte-Incineração									
Transportadora	Destino	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora 1	Empresa A - Incineração	42,00	564.480,00	39,00	524.160,00	15,00	201.600,00	41,00	551.040,00

(Tanque)									
Transportadora 1 (Caçamba)	Empresa A - Incineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 2 (Caçamba)	Empresa A - Incineração	1,00	15.960,00	3,00	47.880,00	2,00	31.920,00	0,00	0,00
Transportadora 2 (Furgão)	Empresa A - Incineração	1,00	7.560,00	1,00	7.560,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		43,00	588.000,00	42,00	572.040,00	17,00	233.520,00	41,00	551.040,00
Destinação-Aterro		Peso (KG)	Custo (R\$)						
Resíduo	Destino								
Bombona contaminada	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	7.457,00	17.675,50	7.457,00	17.675,50	7.451,00	17.661,20
Lama perfuração	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tambor contaminado	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cimento	Empresa B - Aterro	7.457,00	8.140,59	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	6,55
Contaminado químico	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aerossol	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo não reciclável	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		7.457,00	8.140,59	7.457,00	17.675,50	7.457,00	17.675,50	6,00	6,55
Transporte-Aterro		Quantidade (UN)	Custo (R\$)						
Transportadora	Destino								
Transportadora 1 (Tanque)	Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1 (Caçamba)	:Empresa B - Aterro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 3 (Caçamba)	Empresa B - Aterro	1,00	38.000,00	1,00	38.000,00	1,00	38.000,00	1,00	38.000,00
TOTAIS		1,00	38.000,00	1,00	38.000,00	1,00	38.000,00	1,00	38.000,00
Destinação-Rerrefino		Peso (KG)	Custo (R\$)						

Resíduo	Destino								
Óleo usado	Empresa D - Rerrefino	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte-Rerrefino-(Tanque)		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino								
Caminhão Próprio	Empresa D - Rerrefino	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Destinação-Reuso		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Resíduo	Destino								
Metal	Empresa C - Reuso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte-Reuso		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino								
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Destinação-Coprocessamento		Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)	Peso (KG)	Custo (R\$)
Resíduo	Destino								
Lama perfuração	Empresa K - Coprocessamento	159.421,00	1.802.210,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lama perfuração	Empresa J - Coprocessamento	427.353,00	3.010.160,00	427.353,00	3.010.160,00	0,00	0,00	6.914,00	48.700,30
Lama perfuração	Empresa I - Coprocessamento	427.353,00	3.685.270,00	149.691,00	1.290.860,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metal	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bombona contaminada	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	278,00	1.958,16	18,00	126,79
Bombona contaminada	Empresa K - Coprocessamento	1.358,00	10.234,60	4.219,00	31.796,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Bombona contaminada	Empresa I - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Resíduo contaminado	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	1.863,00	17.550,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo contaminado	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	17.320,00	121.997,00	3.830,00	26.977,50
Resíduo contaminado	Empresa I - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tambor contaminado	Empresa K - Coprocessamento	9.960,00	37.531,70	17.995,00	67.809,60	1.860,00	7.008,94	750,00	2.826,19
Óleo usado	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cimento	Empresa K - Coprocessamento	3.432,00	12.932,60	58.925,00	222.044,00	5.554,00	20.928,80	9.004,00	33.929,30
Contaminado químico	Empresa K - Coprocessamento	22.179,00	83.575,90	50.861,00	191.657,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira	Empresa K - Coprocessamento	10.420,00	39.265,10	35.687,00	134.477,00	0,00	0,00	15,00	56,52
Metal	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orgânico	Empresa K - Coprocessamento	720,00	2.713,14	865,00	3.259,53	524,00	1.974,56	231,00	870,47
Plástico	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	5.760,00	21.705,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Resíduo não reciclável	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	2.402,00	8.459,51	2.978,00	10.488,10
Resíduo não reciclável	Empresa K - Coprocessamento	30.388,00	1.145.090,00	23.825,00	89.778,50	1.557,00	5.867,16	0,00	0,00
Óleo de cozinha	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		1.092.584,00	9.828.983,04	777.044,00	5.081.097,83	29.495,00	168.194,13	23.740,00	123.975,17
Transporte-Coprocessamento		Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)	Quantidade (UN)	Custo (R\$)
Transportadora	Destino								
Transportadora 1 (Tanque)	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	43,00	1.307.200,00	0,00	0,00	1,00	30.400,00
Transportadora 1 (Tanque)	Empresa K - Coprocessamento	16,00	409.600,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1	Empresa J -	43,00	1.307.200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(Caçamba)	Coprocessamento								
Transportadora 1 (Caçamba)	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 1 (Tanque)	Empresa I - Coprocessamento	43,00	1.238.400,00	15,00	432.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportadora 2 (Caçamba)	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	36.100,00
Transportadora 2 (Caçamba)	Empresa K - Coprocessamento	8,00	243.200,00	20,00	608.000,00	1,00	30.400,00	1,00	30.400,00
Transportadora 3 (Caçamba)	Empresa J - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	72.200,00	0,00	0,00
Transportadora 3 (Caçamba)	Empresa K - Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS		110,00	3.198.400,00	78,00	2.347.200,00	3,00	102.600,00	3,00	96.900,00
CUSTOS TRANSPORTE E DESTINAÇÃO		CUSTOS TOTAIS (R\$)		CUSTOS TOTAIS (R\$)		CUSTOS TOTAIS (R\$)		CUSTOS TOTAIS (R\$)	
Custo transporte reciclagem		57.000,00		102.600,00		11.400,00		0,00	
Custo transporte incineração		588.000,00		579.600,00		233.520,00		551.040,00	
Custo transporte aterro		38.000,00		38.000,00		38.000,00		38.000,00	
Custo transporte rerrefino		0,00		0,00		0,00		0,00	
Custo transporte reuso		0,00		0,00		0,00		0,00	
Custo transporte coprocessamento		3.198.400,00		2.347.200,00		102.600,00		96.900,00	
CUSTO TRANSPORTE TOTAL		3.881.400,00		3.067.400,00		385.520,00		685.940,00	
Custo destino reciclagem		0,00		0,00		0,00		0,00	
Custo destino reciclagem negativo		-1.783.878,43		-2.834.945,66		-1.281.468,70		-378.014,32	
Custo destino incineração		1.295.042,27		1.279.705,36		492.733,34		1.286.017,94	
Custo destino aterro		8.140,59		17.675,46		17.675,46		17.667,79	
Custo destino rerrefino		0,00		0,00		0,00		0,00	
Custo destino reuso		0,00		0,00		0,00		0,00	
Custo destino Coprocessamento		8.798.405,51		5.081.092,79		168.194,46		123.975,12	
CUSTO DESTINAÇÃO TOTAL		8.317.709,94		3.543.527,95		-602.865,44		1.049.646,53	
TOTAL GERAL		12.199.109,94		6.610.927,95		-217.345,44		1.735.586,53	

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 4.3 - Resultados de 2009 versus Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11

TIPO DE RESÍDUO	Destino/Tratamento	2 Trimestre 2009			3 Trimestre 2009			4 Trimestre 2009		
		TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA	TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA	TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA
Bombonas contaminadas	Incineração	338	0,00	0,19	80	0,00	0,19	70	0,00	0,19
	Aterro Industrial		0,00	7,85		0,00	7,85		0,00	7,85
	Empresa C / Reuso		0,00	30,92		0,00	30,92		0,00	30,92
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	18,74		0,00	18,74		0,00	18,74
	Empresa J / Coprocessamento		100,00			100,00			100,00	
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Outros		0,00	42,30		0,00	42,30		0,00	42,30
Resíduos diversos contaminados com óleo	Incineração	15838	0,00	0,28	15,736	0,00	0,28	15778	0,00	0,28
	Aterro Industrial		47,08	18,90		0,00	18,90		47,26	18,90
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	77,61		0,00	77,61		0,00	77,61
	Empresa J / Coprocessamento		52,92			0,00			0,00	
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			100,00			0,00	
	Outros		0,00	3,21		0,00	3,21		0,00	3,21
Lama de perfuração	Incineração	396462	100,00	Não disponível	56,638	100,00	Não disponível	720515	57,16	Não disponível
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa J /		0,00			0,00			42,84	

	Coprocessamento									
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00		0,00		
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível	0,00	Não disponível	
Tambores contaminados	Incineração	2928	100,00	0,19	1,625	100,00	0,19	4450	100,00	0,19
	Aterro Industrial		0,00	7,85		0,00	7,85		0,00	7,85
	Empresa C / Reuso		0,00	30,92		0,00	30,92		0,00	30,92
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	18,74		0,00	18,74		0,00	18,74
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00				
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00				
	Outros		0,00	42,30		0,00	42,30		0,00	42,30
Óleo usado	Incineração	97	0,00	Não disponível	215	0,00	Não disponível	8734	0,00	Não disponível
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa D / Rerrefino		100,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa J / Coprocessamento		0,00							
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			100,00			100,00	
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
Cimento	Incineração	705	100,00	Não disponível	0	0,00	Não disponível	5324	100,00	Não disponível
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível Não disponível Não disponível		0,00	Não disponível Não disponível Não disponível		0,00	Não disponível Não disponível Não disponível
	Empresa J / Coprocessamento		0,00							
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			100,00	
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
Contaminados com químicos	Incineração	0	0,00	19,54	235	0,00	19,54	5238	0,00	19,54
	Aterro Industrial		0,00	27,27		0,00	27,27		0,00	27,27
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	42,38		0,00	42,38		0,00	42,38

	Empresa J / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00			
	Empresa K / Coprocessamento		0,00		100,00		100,00			
	Outros		0,00	10,81	0,00	10,81	0,00	10,81		
Resíduo Hospitalar	Incineração	0	0,00	44,93	22	100,00	44,93	0	0,00	44,93
	Aterro Industrial		0,00	40,42		0,00	40,42		0,00	40,42
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	1,27		0,00	1,27		0,00	1,27
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Outros		0,00	13,38		0,00	13,38		0,00	13,38
Pilhas e Baterias	Incineração	0	0,00	0,00	890	0,00	0,00	0	0,00	0,00
	Aterro Industrial		0,00	17,99		0,00	17,99		0,00	17,99
	Empresa F / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa H / Reciclagem		0,00			100,00			0,00	
	Empresa L / Reciclagem		0,00	74,57		0,00	74,57		0,00	74,57
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,51		0,00	0,51		0,00	0,51
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
Outros	0,00	6,93	0,00	6,93	0,00	6,93				
Lâmpadas Fluorescentes	Incineração	0	0,00	0,02	189	0,00	0,02	0	0,00	0,02
	Aterro Industrial		0,00	5,00		0,00	5,00		0,00	5,00
	Empresa F / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa H / Reciclagem		0,00			100,00			0,00	
	Empresa L / Reciclagem		0,00	68,35		0,00	68,35		0,00	68,35
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa I /		0,00	1,19		0,00	1,19		0,00	1,19

	Coprocessamento											
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00		0,00				
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00		0,00				
	Outros		0,00	25,44		0,00	25,44	0,00	25,44			
Aerossol	Incineração	0	0,00	Não disponível	276	100,00	Não disponível	40	100,00	Não disponível		
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00						
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00						
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
Madeira	Incineração	11082	100,00	0,00	6,164	0,00	0,00	20242	1,98	0,00		
	Aterro Industrial		0,00	4,57		0,00	4,57		0,00	4,57		
	Empresa F / Reciclagem		0,00	82,70		0,00	82,70		0,00	82,70	0,00	82,70
	Empresa H / Reciclagem		0,00			100,00			0,00			
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00			10,45			
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			49,40			
	Empresa E / Reciclagem		0,00	0,00		0,00	0,00					
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	7,93		0,00	7,93		0,00	7,93	0,00	7,93
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00						
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			38,17			
	Outros		0,00	4,80		0,00	4,80		0,00	4,80	0,00	4,80
Metal	Incineração	30985	0,08	0,00	21,361	0,00	0,00	17203	0,00	0,00		
	Aterro Industrial		0,00	0,86		0,00	0,86		0,00	0,86		
	Empresa C / Reuso		0,00	2,63		0,00	2,63		0,00	2,63		
	Empresa F / Reciclagem		0,00	96,37		0,00	96,37		0,00	96,37	0,00	96,37
	Empresa H / Reciclagem		29,17			100,00			57,65			
	Empresa L / Reciclagem		38,47			0,00			42,35			
	Empresa G / Reciclagem		32,27			0,00			0,00			

	Empresa E / Reciclagem		0,00		0,00		0,00			
	Empresa I / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00			
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,07		
	Empresa K / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00			
	Outros		0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,07		
Orgânico	Incineração	720	100,00	0,00	865	100,00	0,00	524	100,00	0,00
	Aterro Industrial		0,00	35,21		0,00	35,21		0,00	35,21
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			100,00	
	Outros		0,00	64,79	0,00	64,79	0,00	64,79		
Papel	Incineração	2710	0,00	0,00	1,917	0,00	0,00	1646	0,00	0,00
	Aterro Industrial		0,00	4,88		0,00	4,88		0,00	4,88
	Empresa F / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa H / Reciclagem		100,00			100,00			100,00	
	Empresa L / Reciclagem		0,00	91,65		0,00	91,65		0,00	91,65
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00	
	Outros		0,00	3,47	0,00	3,47	0,00	3,47		
Plástico	Incineração	2732	0,00	0,00	1,482	0,00	0,00	2519	0,00	0,00
	Aterro Industrial		0,00	5,37		0,00	5,37		0,00	5,37
	Empresa F / Reciclagem		0,00			0,00			0,00	
	Empresa H / Reciclagem		0,00	89,68		100,00	89,68		0,00	89,68
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00			100,00	

	Empresa G / Reciclagem		0,00		0,00		0,00					
	Empresa E / Reciclagem		0,00		0,00		0,00					
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01				
	Empresa J / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00					
	Empresa K / Coprocessamento		100,00		0,00		0,00					
	Outros		0,00	4,94	0,00	4,94	0,00	4,94				
Vidro	Incineração	171	0,00	0,00	143	0,00	0,00	357	0,00	0,00		
	Aterro Industrial		0,00	2,89		0,00	2,89		0,00	2,89		
	Empresa F / Reciclagem		0,00	95,42		0,00	95,42		0,00	95,42	0,00	95,42
	Empresa H / Reciclagem		100,00			100,00			100,00			
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			
	Empresa E / Reciclagem		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00			
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	0,03		0,00	0,03		0,00	0,03	0,00	0,03
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			
	Empresa K / Coprocessamento		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00			
Outros	0,00	1,66	0,00	1,66	0,00	1,66	0,00	1,66				
Não reciclável	Incineração	6737	0,00	0,36	3943	0,00	0,36	8347	0,00	0,36		
	Aterro Industrial		0,00	82,19		0,00	82,19		0,00	82,19		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	7,45		0,00	7,45		0,00	7,45	0,00	7,45
	Empresa J / Coprocessamento		19,01			0,00			0,00		19,28	
	Empresa K / Coprocessamento		80,99	100,00		80,72						
	Outros		0,00	10,00		0,00	10,00		0,00	10,00	0,00	10,00
Óleo de cozinha	Incineração	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00		
	Aterro Industrial		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		
	Empresa F / Reciclagem		0,00	100,00		0,00	100,00		0,00	100,00	0,00	100,00
	Empresa H / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			

Empresa L / Reciclagem	0,00		0,00		0,00	
Empresa G / Reciclagem	0,00		0,00		0,00	
Empresa E / Reciclagem	0,00		0,00		0,00	
Empresa I / Coprocessamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Empresa J / Coprocessamento	0,00		0,00			
Empresa K / Coprocessamento	0,00		0,00			
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 4.4 - Resultados de 2010 versus Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11

TIPO DE RESÍDUO	Destino/Tratamento	1 Trimestre 2010			2 Trimestre 2010			3 Trimestre 2010			4 Trimestre 2010		
		TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA	TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA	TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA	TOTAL (kg)	% Modelo	% NT IBAMA
Bombonas contaminadas	Incineração	1.358	0,00	0,19	4.219	0,00	0,19	278	0,00	0,19	18	0,00	0,19
	Aterro Industrial		0,00	7,85		0,00	7,85		0,00	7,85			
	Empresa C / Reuso		0,00	30,92		0,00	30,92		0,00	30,92			
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	18,74		0,00	18,74		0,00	18,74			
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			100,00			0,00			18,74	
	Empresa K / Coprocessamento		100,00			0,00			0,00				
	Outros		0,00	42,30		0,00	42,30		0,00	42,30		0,00	42,30
Resíduos diversos contaminados	Incineração	0	0,00	0,28	9.320	0,00	0,28	24.777	0,00	0,28	11.281	0,00	0,28
	Aterro Industrial		0,00	18,90		80,01	18,90		30,10	18,90		66,05	18,90

com óleo	Empresa I / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	77,61	0,00	77,61	69,90	77,61	33,95	77,61			
	Empresa K / Coprocessamento		0,00		19,99		0,00		0,00				
	Outros		0,00	3,21	0,00	3,21	0,00	3,21	0,00	3,21			
Lama de perfuração	Incineração	1.426.420	28,90	Não disponível	964.644	40,18	Não disponível	146.529	100,00	Não disponível	416.914	98,34	Não disponível
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa I / Coprocessamento		29,96	Não disponível		15,52	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa J / Coprocessamento		29,96			44,30			0,00			0,00	
	Empresa K / Coprocessamento		11,18			0,00			0,00			0,00	
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
Tambores contaminados	Incineração	9.960	0,00	0,19	17.995	0,00	0,19	1.860	0,00	0,19	750	100,00	0,19
	Aterro Industrial		0,00	7,85		0,00	7,85		0,00	7,85		0,00	7,85
	Empresa C / Reuso		0,00	30,92		0,00	30,92		0,00	30,92		0,00	30,92
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	18,74		0,00	18,74		0,00	18,74		0,00	18,74
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00				
	Empresa K / Coprocessamento		100,00			100,00			100,00				
	Outros		0,00	42,30		0,00	42,30		0,00	42,30		0,00	42,30
Óleo usado	Incineração	0	0,00	Não disponível	0	0,00	Não disponível	0	0,00	Não disponível	0	0,00	Não disponível
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa D / Rerrefino		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		100,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00				
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00				

	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
Cimento	Incineração	10.889	0,00	Não disponível	58.925	0,00	Não disponível	16.252	65,83	Não disponível	9.010	0,00	Não disponível		
	Aterro Industrial		68,48	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,07	Não disponível		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
	Empresa K / Coprocessamento		31,52	Não disponível		100,00	Não disponível		34,17	Não disponível		99,93	Não disponível		
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		
Contaminados com químicos	Incineração	22.179	0,00	19,54	50.861	0,00	19,54	0	0,00	19,54	0	0,00	19,54		
	Aterro Industrial		0,00	27,27		0,00	27,27		0,00	27,27		0,00	27,27		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	42,38		0,00	42,38		0,00	42,38		0,00	42,38	0,00	42,38
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00									
	Empresa K / Coprocessamento		100,00			0,00									
	Outros		0,00			10,81			0,00			10,81		0,00	
Resíduo Hospitalar	Incineração	7	100,00	44,93	34	100,00	44,93	0	0,00	44,93	0	0,00	44,93		
	Aterro Industrial		0,00	40,42		0,00	40,42		0,00	40,42		0,00	40,42		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	1,27		0,00	1,27		0,00	1,27		0,00	1,27	0,00	1,27
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00									
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00									
	Outros		0,00			13,38			0,00			13,38		0,00	
Pilhas e Baterias	Incineração	126	0,00	0,00	120	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00		
	Aterro Industrial		0,00	17,99		0,00	17,99		0,00	17,99		0,00	17,99		
	Empresa F / Reciclagem		0,00	74,57		0,00	74,57		0,00	74,57		0,00	74,57	0,00	74,57
	Empresa H / Reciclagem		100,00			0,00									
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00									
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00									
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00									

	Empresa I / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00			
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,51		0,00	0,51		0,00		0,00	0,51		
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00		0,00			
	Outros		0,00	6,93		0,00	6,93		0,00		0,00	6,93		
Lâmpadas Fluorescentes	Incineração	25	0,00	0,02	40	100,00	0,02	57	0,00	0,02	0	0,00	0,02	
	Aterro Industrial		0,00	5,00		0,00	5,00		0,00	5,00		0,00	5,00	
	Empresa F / Reciclagem		0,00	68,35		0,00	68,35		0,00	68,35		0,00	68,35	
	Empresa H / Reciclagem		0,00			100,00			0,00			0,00		
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00			100,00			0,00		0,00
	Empresa G / Reciclagem		100,00			0,00			0,00			0,00		
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			1,19			0,00			1,19		0,00
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,00			0,00							
	Empresa K / Coprocessamento		0,00	0,00			0,00							
Outros	0,00	25,44	0,00	25,44	0,00		25,44	0,00	25,44					
Aerossol	Incineração	0	0,00	Não disponível	0	0,00	Não disponível	33	100,00	Não disponível	0	0,00	Não disponível	
	Aterro Industrial		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível	
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível	
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00					
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00					
	Outros		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível		0,00	Não disponível	0,00
Madeira	Incineração	11.065	0,00	0,00	36.912	3,32	0,00	11.038	83,97	0,00	8.105	0,00	0,00	
	Aterro Industrial		0,00	4,57		0,00	4,57		0,00	4,57		0,00	4,57	
	Empresa F / Reciclagem		0,00	82,70		0,00	82,70		0,00	82,70		0,00	82,70	
	Empresa H / Reciclagem		0,00			0,00			99,81			82,70		
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00			0,00					

	Empresa G / Reciclagem		5,83		0,00		0,00		0,00		0,00						
	Empresa E / Reciclagem		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00						
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	7,93	0,00	7,93	0,00	7,93	0,00	7,93	0,00						
	Empresa J / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00		0,00								
	Empresa K / Coprocessamento		94,17		96,68		0,00		0,19								
	Outros		0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00	4,80	0,00						
Metal	Incineração	26.607	0,00	0,00	49.835	46,96	0,00	17.460	0,00	0,00	1.682	0,00	0,00				
	Aterro Industrial		0,00	0,86		0,00	0,86		0,00	0,86		0,00	0,86				
	Empresa C / Reuso		0,00	2,63		0,00	2,63		0,00	2,63		0,00	2,63				
	Empresa F / Reciclagem		0,00	96,37		0,00	96,37		0,00	96,37		0,00	96,37	0,00	96,37	0,00	96,37
	Empresa H / Reciclagem		30,74			5,21			54,64			100,00					
	Empresa L / Reciclagem		44,80			23,92			45,36			0,00					
	Empresa G / Reciclagem		24,46			23,92			0,00			0,00					
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00					
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	0,07		0,00	0,07		0,00	0,07		0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,07
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00					
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00					
Outros	0,00	0,07	0,00		0,07	0,00		0,07	0,00		0,07						
Orgânico	Incineração	720	0,00	0,00	865	0,00	0,00	524	0,00	0,00	231	0,00	0,00				
	Aterro Industrial		0,00	35,21		0,00	35,21		0,00	35,21		0,00	35,21				
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00					
	Empresa K / Coprocessamento		100,00			100,00			100,00			100,00					
	Outros		0,00	64,79		0,00	64,79		0,00	64,79		0,00	64,79	0,00	64,79		
Papel	Incineração	2.597	0,00	0,00	7.733	0,00	0,00	1.929	0,00	0,00	929	0,00	0,00				
	Aterro Industrial		0,00	4,88		0,00	4,88		0,00	4,88		0,00	4,88				
	Empresa F / Reciclagem		0,00	91,65		0,00	91,65		0,00	91,65		0,00	91,65				

	Empresa H / Reciclagem		100,00		100,00		100,00		100,00				
	Empresa L / Reciclagem		0,00		0,00		0,00		0,00				
	Empresa G / Reciclagem		0,00		0,00		0,00		0,00				
	Empresa E / Reciclagem		0,00		0,00		0,00		0,00				
	Empresa I / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00		0,00				
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
	Empresa K / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00		0,00				
	Outros		0,00	3,47	0,00	3,47	0,00	3,47	0,00	3,47			
Plástico	Incineração	2.823	0,00	0,00	5.760	0,00	0,00	2.175	0,00	0,00	994	0,00	0,00
	Aterro Industrial		0,00	5,37		0,00	5,37		0,00	5,37		0,00	5,37
	Empresa F / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00	
	Empresa H / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00	100,00
	Empresa L / Reciclagem		0,00	89,68		0,00	89,68		100,00	89,68		0,00	89,68
	Empresa G / Reciclagem		100,00			0,00			0,00			0,00	
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00	
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00	0,01
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,01		0,00	0,01		0,00	0,01		0,00	0,01
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			100,00			0,00			0,00	
Outros	0,00	4,94	0,00	4,94	0,00	4,94	0,00	4,94					
Vidro	Incineração	647	0,00	0,00	598	0,00	0,00	168	0,00	0,00	225	0,00	0,00
	Aterro Industrial		0,00	2,89		0,00	2,89		0,00	2,89		0,00	2,89
	Empresa F / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00	
	Empresa H / Reciclagem		100,00			100,00			100,00			100,00	
	Empresa L / Reciclagem		0,00	95,42		0,00	95,42		0,00	95,42		0,00	95,42
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00	
	Empresa E / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00	
	Empresa I / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00	0,03
	Empresa J / Coprocessamento		0,00	0,03		0,00	0,03		0,00	0,03		0,00	0,03
	Outros		0,00			0,00			0,00			0,00	

	Empresa K / Coprocessamento		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00				
	Outros		0,00	1,66	0,00	1,66	0,00	1,66	0,00	1,66	0,00	1,66			
Não reciclável	Incineração	30.388	0,00	0,36	23.825	0,00	0,36	3.959	0,00	0,36	2.978	0,00	0,36		
	Aterro Industrial		0,00	82,19		0,00	82,19		0,00	82,19		0,00	82,19		
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	7,45		0,00	7,45		0,00	7,45		0,00	7,45		
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			100,00			100,00			100,00		0,00	7,45
	Empresa K / Coprocessamento		100,00			0,00			0,00			39,33		0,00	
	Outros		0,00			10,00			0,00			10,00		0,00	10,00
Óleo de cozinha	Incineração	370	0,00	0,00	875	0,00	0,00	282	0,00	0,00	0	0,00	0,00		
	Aterro Industrial		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00					
	Empresa F / Reciclagem		0,00	100,00		0,00	100,00		0,00	100,00		0,00	100,00		
	Empresa H / Reciclagem		100,00			100,00			100,00			0,00			
	Empresa L / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00			
	Empresa G / Reciclagem		0,00			0,00			0,00			0,00			
	Empresa E / Reciclagem		0,00	0,00		0,00	0,00								
	Empresa I / Coprocessamento		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		
	Empresa J / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00			
	Empresa K / Coprocessamento		0,00			0,00			0,00			0,00			
	Outros		0,00			0,00			0,00			0,00		0,00	0,00

Fonte: Elaboração do autor.

5. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Na Seção 3.1 foi possível verificar que:

- a) As empresas destinadoras cujos sistemas de gestão eram integrados (QSMS), certificados pela ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, obtiveram as maiores notas.
- b) As empresas cujas primeiras certificações foram obtidas há mais tempo obtiveram notas superiores às que possuíam certificados mais recentes.
- c) As empresas que possuíam sistemas de gestão não certificados obtiveram resultados abaixo das que possuíam o sistema certificado.
- d) As notas foram menores quanto menor o número de certificados. A empresa certificada apenas pela ISO 14001 obteve nota menor do que as obtidas pelas empresas certificadas pelas ISO 9001 e 14001.
- e) As empresas sem sistemas de gestão de QSMS implementados obtiveram resultados inferiores dos obtidos pelas empresas com estes sistemas.
- f) Destinos finais considerados mais sustentáveis, como por exemplo reuso e reciclagem obtiveram notas inferiores a destinos considerados ambientalmente maiores poluidores, como incineração e aterro industrial.

Entre todos os resultados apresentados, apenas o último pode surpreender um leitor menos familiarizado com sistemas de gestão. Todavia, apesar de seus processos serem considerados mais sustentáveis, as empresas de reciclagem e reuso auditadas, por não possuírem sistemas de gestão integrados, não consideravam, no período em que foram auditadas, o atendimento aos requisitos da gestão integrada de QSMS em seus processos de trabalho. Em outras palavras, não é a atividade fim que influencia as notas do questionário, mas como a empresa realiza seus processos de trabalho, tendo em vista os aspectos da qualidade do produto ou serviço realizados, da segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos nas tarefas, bem como o meio ambiente impactado positiva ou negativamente pelas suas atividades.

É provável que os aspectos relativos à segurança e saúde dos trabalhadores mostrem esta característica de maneira mais óbvia, pois uma empresa de reciclagem que tenha um nível elevado de acidentes com seus trabalhadores, apesar de exercer uma atividade considerada sustentável, não está tratando adequadamente da segurança de sua força de trabalho, e tal fato será inequivocamente representado negativamente ao passar por uma auditoria de sistema de gestão de segurança e saúde.

Através do apresentado nas Tabelas 4.3 e 4.4, observa-se que a Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11 não apresenta resultados para alguns tipos de resíduos, dentre eles lama de perfuração e cimento, que representam volumes importantes nas operações de perfuração.

5.1. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM A LITERATURA

A fim de facilitar a comparação dos resultados desta tese com a literatura, e apresentada a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Comparação dos Resultados da Tese com a Literatura

AUTORES	ESCOPO DE TRABALHO	CONCLUSÕES	RESULTADOS DESTE TRABALHO	OBSERVAÇÕES
PIRES <i>et al.</i> , 2011	ACV para avaliar alternativas de gerenciamento de resíduos sólidos em Portugal.	Reciclagem contribui para reduzir potencial de aquecimento global	Maior parte de recicláveis para reciclagem.	Não considera coprocessamento, destino para o qual alguns resíduos recicláveis foram destinados pelo modelo.
MERCANTE <i>et al.</i> , 2012	Desenvolveu e analisou ICV de sistemas de gerenciamento de resíduos da construção e demolição de empresas da Espanha.	Fase de transporte dos resíduos é a que gera maior impacto ambiental. Reciclagem nem sempre é a melhor alternativa.	44% dos resultados com custo neutralização de CO2 maior para transporte do que para destinação final. Em 30% transporte com resultados inferiores, porém bem próximos aos de destinação final. Madeira: 71% dos resultados para opção diferente da reciclagem; plástico e metal, 30% dos resultados para destinos distintos de reciclagem. Demais resíduos recicláveis destinados 100% para reciclagem.	Não aplicável.
JESWANI <i>et al.</i> 2012	Estimar e comparar pegada de carbono da disposição de resíduos sólidos urbanos por incineração e aterro no Reino Unido.	Incineração gera menores quantidades de GEE do que aterro.	Em 50% dos resíduos que podem ser destinados para aterro, o CO2 eq. gerado por este processo é maior que o gerado pela incineração.	Incineração e aterro, com opções de recuperação de energia. Considera incinerador de última geração, tipicamente encontrado na Europa.

<p>BLENGINI <i>et al.</i>, 2012</p>	<p>Desenvolveu estudos de ACV para sistemas de gerenciamento de resíduos do norte da Itália.</p>	<p>Desenvolver estratégias de gestão de resíduos é tarefa desafiadora, que engloba aspectos que não podem ser totalmente incluídos em uma ACV. Não há soluções preferíveis no gerenciamento de resíduos, em termos de indicadores ambientais e de energia.</p>	<p>Nem todos os processos de destinação foram encontrados nos bancos de dados de ICV, como por exemplo, blendagem de resíduos.</p>	<p>Não aplicável.</p>
---	--	--	--	-----------------------

Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados deste trabalho confirmam uma das conclusões do estudo de PIRES *et al.* (2011), que apresenta um trabalho baseado na ACV para avaliar diferentes alternativas para gerenciamento de resíduos sólidos em Portugal, que consiste no fato de que a reciclagem contribui para reduzir o potencial de aquecimento global substancialmente em todas as alternativas estudadas. Isto porque a maior parte dos resíduos recicláveis foram destinados pelo modelo a um dos destinos de reciclagem disponíveis. Cabe ressaltar, todavia, que o trabalho de PIRES *et al.* (2011), considera como alternativas a coleta, transporte, triagem, reciclagem e tratamento mecânico e biológico de resíduos por meio de tratamento aeróbico e aterro, ou seja, não considera o coprocessamento, que é uma das alternativas disponíveis no presente estudo, e para a qual alguns resíduos que podem ser reciclados foram destinados pelo modelo.

O estudo de MERCANTE *et al.* (2012), que desenvolveu e analisou o ICV de sistemas de gerenciamento de resíduos da construção e demolição de empresas da Espanha, com ênfase no perfil ambiental de instalações de seleção e tratamento de resíduos inertes, concluiu por sua vez que, do ponto de vista de impacto ambiental, a fase de transporte dos resíduos é a que gera a maior contribuição. Além disso, seus resultados evidenciam que a reciclagem nem sempre é a melhor alternativa: No caso de madeira e papelão, existem outras alternativas de destinação final mais recomendáveis, tais como incineração controlada, aterro industrial com captura de metano, etc. Para o cálculo do impacto ambiental o citado estudo considerou o aquecimento global (CO₂ equivalente), esgotamento da camada de ozônio, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização.

No presente trabalho, em torno de 43% dos resultados apresentaram um maior custo para neutralização de CO₂ para a parcela do transporte do que para o processo de destinação final. Adicionalmente, em aproximadamente 30% dos resultados, a parcela referente ao transporte de resíduos, apresentou resultados inferiores, porém bem próximos aos da parcela relativa ao processo de destinação final.

No que tange à reciclagem não ser sempre a melhor alternativa, os resultados deste trabalho também demonstram coerência com o trabalho de MERCANTE *et al.* (2012): Para o caso do resíduo madeira, em 71% dos casos o modelo indicou como melhor destino uma opção diferente da reciclagem; para os resíduos plástico e metal, em torno de 30% dos resultados do modelo foram para destinos distintos de reciclagem. No entanto, os demais resíduos recicláveis foram 100% destinados pelo modelo para destinos cujo processo é a reciclagem.

É importante ressaltar, porém, que a conclusão de que a reciclagem nem sempre é a melhor alternativa, foi alcançada nesta tese no contexto do modelo estudado, sendo a neutralização dos gases de efeito estufa o foco da abordagem, considerando uma batelada de resíduos distintos a ser destinada para opções de destino final conhecidas. Ou seja, em situações de estudo distintas, com outras quantidades, tipos e opções de destino final, ou mesmo outros parâmetros de análise diferentes da neutralização de CO₂, não é possível garantir que esta mesma conclusão necessariamente será alcançada.

O trabalho de JESWANI *et al.* (2012) teve como objetivo estimar e comparar a pegada de carbono da disposição de resíduos sólidos urbanos por incineração e aterro, ambos com opções de recuperação de energia. O mesmo considera um incinerador de última geração, tipicamente encontrado no Reino Unido e no resto da Europa, de onde foram utilizados os dados para obtenção dos resultados do presente estudo, oriundos do banco de dados Ecoinvent. Naquele mesmo estudo, os autores informam que a maioria dos resíduos em muitos países é ainda depositada em aterros, e que tal fato representa perda de recursos valiosos, gerando além disso maiores emissões de gases de efeito estufa (GEE) em comparação com a energia recuperada por incineração, mesmo quando o gás de aterro é recuperado. Adicionalmente, apesar da incineração de resíduos sólidos ser uma opção socialmente inaceitável em muitos países, devido a aspectos de transporte, saúde, estética e outras preocupações, o processo mostrou-se uma opção melhor do que o aterro sob todas as condições consideradas no citado trabalho.

No corrente estudo os resultados mostram que para quase 50% dos casos de resíduos que podem ser destinados para aterro, o CO₂ equivalente gerado por este processo é maior que o gerado pela incineração, o que demonstra alinhamento com os resultados oriundos do trabalho de JESWANI *et al.* (2012), que foram, entretanto, obtidos com maior precisão do que os desta tese.

Da mesma forma que a conclusão de que a reciclagem pode nem sempre ser a melhor alternativa de destinação final de resíduos, os 50% dos resultados de CO₂ equivalente maiores para o destino aterro do que os obtidos para o destino incineração deve ser considerado apenas no contexto específico do presente trabalho. Em outras palavras, em condições diferentes das estudadas, os resultados podem ser distintos.

BLENGINI *et al.* (2012) concluem que aplicações detalhadas da ACV a sistemas de gerenciamento de resíduos são complexas, e posterior análise necessariamente reflete esta complexidade. E que desenvolver estratégias de gestão de resíduos é uma tarefa desafiadora, que engloba vários aspectos que não podem ser totalmente incluídos em uma análise de ACV. Além disso, os programas de investigação realizados em seus estudos uma vez mais confirmaram que não há soluções preferíveis no gerenciamento de resíduos, considerando todos os indicadores ambientais e de energia.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta um modelo matemático de programação inteira mista, para apoio à decisão sobre o melhor destino final para resíduos de operações de Exploração e Produção (E&P) de hidrocarbonetos.

Dentro do critério de melhoria contínua proposto pela Gestão de Ciclo de Vida (GCV), o estudo propõe a inclusão do aspecto adicional de sustentabilidade ambiental no processo decisório, geralmente baseado apenas no custo financeiro para destinação.

Para isto foram obtidas as quantidades de CO₂ gerado por cada processo de destinação final, através de bancos de dados de Inventários de Ciclo de Vida (ICV).

A fim de contabilizar o CO₂ equivalente gerado por cada processo de destinação final em valores financeiros em reais, considerou-se a neutralização deste através do plantio de árvores.

Adicionalmente, são descritos os resultados de auditorias de Qualidade, Segurança do Trabalho, Meio Ambiente e Saúde Ocupacional (QSMS) nas empresas destinadoras finais de resíduos.

Experimentos computacionais foram conduzidos utilizando dados reais da geração de resíduos de perfuração de poços *offshore* executados por empresa de petróleo durante período de dois anos, e os resultados obtidos comparados com os pesquisados na literatura acadêmica, bem como com dados informados pelo IBAMA baseados nos resultados consolidados das informações sobre geração e destinação final dos resíduos sólidos dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo referentes ao ano de 2009.

Os bancos de dados de ICV utilizados são baseados em condições dos seus países de origem, ou seja, o *Life Cycle Inventory Database* considera condições dos Estados Unidos, e o *Ecoinvent* da Europa, na maioria dos casos da Suíça. Assim sendo, dados mais exatos poderiam ser obtidos caso fossem utilizadas informações de ICV específicas do Brasil. Por exemplo, os dados de CO₂ equivalente gerado durante o transporte de resíduos, obtidos através do *Life Cycle Inventory Database*, utilizam informações de estradas, caminhões e combustíveis americanos, que possuem diferenças com relação ao mesmo tipo de transporte executado no Brasil.

O mercado globalizado, cada vez mais competitivo, tem exigido esforços constantes das organizações, estimulando-as a desenvolver estratégias mais sofisticadas para obter melhoria contínua e, assim, sobreviver à incessante sede de mudança dos clientes e/ou à presença dos concorrentes.

A fim de fazer frente a estes novos desafios, surgiu o conceito de sistema de gestão, que, é um sistema utilizado por uma organização para estabelecer sua política e objetivos, e atingir estes objetivos. Pode incluir diferentes sistemas de gestão, tais como um sistema de gestão da qualidade, da segurança do trabalho e saúde ocupacional, de gestão ambiental ou mesmo de gestão financeira ou de recursos humanos.

Muitas empresas vem implantando sistemas de gestão da qualidade para se tornarem competitivas, pois assim podem ter um planejamento e fazer um controle dos produtos ou serviços oferecidos, um controle sobre a produção e reduzir perdas com produtos fora da especificação. Além disso, a presença mais efetiva dos órgãos reguladores tem tornado a implantação de sistema de gestão da qualidade, peça fundamental para garantir o atendimento a todos os requisitos existentes e aos novos que surgem a todo o momento.

A implantação de um sistema de gestão da qualidade é uma decisão estratégica da organização que busca, por meio da aplicação do modelo de gestão da qualidade, identificar os processos do seu negócio, integrá-los e trabalhar para atingir os seus objetivos estratégicos, os objetivos de seus clientes, o atendimento aos requisitos de produtos e outros requisitos aplicáveis, tendo a eficácia e a melhoria contínua como premissas básicas.

Entretanto, atualmente não é suficiente para as companhias comunicar apenas as dimensões econômicas de suas operações. Contrariamente, grupos de “partes interessadas” ou *stakeholders*, estão hoje em dia demandando informações e declarações sobre questões sociais e ambientais. Assim sendo, uma vez que o aumento das demandas sociais e ambientais das partes interessadas será cada vez maior, apenas as empresas que implementarem programas de sustentabilidade com antecedência serão competitivas a longo prazo. Em outras palavras, os informes sociais e ambientais representam hoje um papel fundamental na análise do desempenho sustentável das organizações.

Dentro deste conceito de sustentabilidade, a empresa eco-eficiente deve utilizar menos recursos naturais, isto é, reduzir o consumo de energia e minimizar os impactos no ambiente sem perder o foco no negócio. No entanto, mesmo que certos trabalhos sejam considerados "verdes", as tecnologias utilizadas podem proteger o meio ambiente, mas não serem de nenhuma forma, seguras para seus empregados. Deste modo, à medida que a chamada economia verde se desenvolve, é essencial que a Segurança e Saúde Ocupacional sejam integradas nas políticas dos empregos verdes. Isto implica em integrar a avaliação dos riscos e sua respectiva gestão na análise do ciclo de vida de todos os empregos verdes. Resumidamente, um verdadeiro trabalho verde deve integrar, além das questões Ambientais e da Qualidade, também a Segurança e a Saúde em todas as áreas da empresa, tais como operações, *supply chain*, manutenção, recursos humanos, etc., através de sistemas de gestão integrados e certificados.

Com relação aos sistemas de gestão integrada de QSMS este trabalho conclui que:

- Sistemas de gestão integrados de QSMS permitem melhor gerenciamento dos requisitos relativos à Qualidade do produto fornecido ou serviço prestado, perigos e riscos relativos à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional e aspectos e impactos ao Meio Ambiente.
- A certificação dos sistemas de gestão de QSMS propicia melhor gerenciamento dos requisitos relativos à Qualidade do produto fornecido ou serviço prestado, perigos e riscos relativos à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional e aspectos e impactos ao Meio Ambiente.
- Sistemas de gestão de QSMS permitem a melhoria contínua do gerenciamento dos requisitos relativos à Qualidade do produto fornecido ou serviço prestado, perigos e riscos relativos à Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional, e aspectos e impactos ao Meio Ambiente.

A Gestão de Ciclo de Vida (GCV) é útil para organizações que expressam o desejo de produzir ou comercializar produtos que sejam tanto sustentáveis quanto economicamente viáveis, a fim de melhorar sua imagem pública, visibilidade, relações com suas partes interessadas, valor de mercado, bem como seu preparo para lidar com contextos regulatórios mutáveis.

Para a implantação da GCV é importante que seja introduzido o Pensamento de Ciclo de Vida (PCV), que é um conceito que visa identificar melhorias possíveis para bens e serviços sob a forma de menores impactos ambientais e uso reduzido de recursos através de toda as fases de vida. Adicionalmente, o PCV também tem sido definido como a incorporação da abordagem básica da Análise de Ciclo de Vida (ACV), sem a necessidade de uma avaliação detalhada de cada processo, utilizando uma gama de fontes de referência de dados para identificar tendências nos resultados e conclusões que são consideradas como representativas.

A GCV é um processo dinâmico e voluntário, melhor implantado através de um processo gradual, com especial atenção a atividades que garantam a melhoria contínua. Deste modo, é recomendável utilizar em sua implantação, o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), em linha com as normas ISO 9001, 14001 e OHSAS 18001.

Já a ACV é uma ferramenta de suporte à tomada de decisão, que permite uma operacionalização quantitativa do conceito de sustentabilidade, situando cada prática sociotécnica em escalas que medem sua contribuição para mudanças climáticas, geração de resíduos sólidos, etc.

Contudo, aplicações detalhadas da ACV a sistemas de gerenciamento de resíduos são complexas, e desenvolver estratégias para este gerenciamento é uma tarefa desafiadora, que engloba vários aspectos que não podem ser totalmente incluídos em uma análise de ACV. Em resumo, do ponto de vista apenas da ACV, não há soluções preferíveis no gerenciamento de resíduos, considerando todos os indicadores ambientais e de energia.

À medida que o ímpeto da ACV e do PCV nas políticas de gestão de resíduos é crescente, os tomadores de decisão podem enfrentar conselhos conflitantes sobre os impactos ambientais potenciais de diferentes opções de tratamentos de destinação final.

No que tange ao Programa de Controle de Poluição (PCP) do IBAMA as conclusões deste estudo são as seguintes:

- A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 de 22 de março de 2011 cita reuso como uma das opções de destino final de resíduos sólidos. Porém, não diferencia o método da reciclagem, nem tão pouco apresenta a definição dos métodos.

- Na Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11, que apresenta os resultados consolidados das informações sobre geração e destinação final dos resíduos sólidos dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de hidrocarbonetos referentes ao ano de 2009, são mostradas informações de destinação de resíduos tanto para coprocessamento quanto para *blend* de resíduos, sem entretanto nenhuma explicação ou distinção sobre um processo e outro. Informações da empresa estudada são de que o IBAMA não questiona se a informação de destinação final é para blendagem, coprocessamento, ou ambos, mesmo que haja o entendimento de que o primeiro processo tenha na realidade, o objetivo de produzir matéria-prima para o coprocessamento. Adicionalmente, apesar da Resolução CONAMA no. 264 (1999) definir que resíduos hospitalares não devem ser utilizados para as atividades de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, juntamente com resíduos domiciliares brutos, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins, e que, de acordo com a Companhia Holcim (HOLCIM, 2011), não devem ser utilizados no processo resíduos hospitalares, materiais radiativos, pilhas, baterias, pesticidas, lixo doméstico não-classificado, entre outros, a citada Nota Técnica, entretanto, apresenta resultados de destinação para coprocessamento e *blend* de resíduos para pilhas e baterias, e coprocessamento para resíduos infecto-contagiosos (hospitalares).
- A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 07/11 também não apresenta resultados para alguns tipos de resíduos, dentre eles lama de perfuração e cimento, que representam volumes importantes nas operações de perfuração de poços.
- Ainda que não haja atualmente nenhuma exigência para que sejam avaliadas as possibilidades de destinação final dos resíduos à luz do PCV, como evidenciado pela orientação para que sejam reciclados o máximo possível dos resíduos desembarcados, nota-se aspectos desta filosofia em outros trechos da Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11 de 22 de março de 2011:
 - ✓ No conceito de melhoria contínua, que é requisito fundamental da GCV, explicitado, tanto em outro dos objetivos fundamentais, que é “aprimorar continuamente os procedimentos citados nos itens anteriores”, quanto na afirmação de que para os resíduos sólidos e efluentes líquidos passíveis de descarte no mar, bem como para as emissões atmosféricas, a empresa deve buscar melhorias contínuas nos processos de gestão.

- ✓ Na visão integrada e sinérgica das dinâmicas e reflexos socioeconômicos e ambientais da disposição final dos resíduos do conjunto de empreendimentos marítimos da própria empresa, frente à disponibilidade e capacidade de suporte dos serviços presentes na região. Esta visão deve também englobar, os mesmos efeitos causados na região pelos resíduos dos empreendimentos marítimos das demais empresas.

- ✓ No comentário de que a empresa deve primar para que cada resíduo seja disposto o mais próximo possível do local de desembarque, de forma a que haja menor dispêndio de energia de transporte, bem como redução de riscos de acidentes ambientais associados a esse transporte.

O tratamento e destinação de resíduos sólidos municipais, industriais e outros resíduos sólidos produz quantidades significativas de gases de efeito estufa, contribuindo com cerca de 3 a 4 por cento das emissões anuais globais antrópicas destes gases.

Atualmente, dentre as práticas que vem sendo implantadas para reduzir os impactos ambientais no gerenciamento de resíduos sólidos, observa-se que a recuperação de gás de aterro tem se tornado mais comum como uma medida para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Com relação à geração de CO₂ equivalente no gerenciamento de resíduos sólidos, os resultados deste estudo são os seguintes:

- Conforme o esperado, os custos calculados para neutralizar o CO₂ equivalente gerado no transporte dos diversos tipos de resíduos aos diferentes destinos finais, são função da massa de resíduos e da distância do terminal de apoio até os destinos finais. Assim sendo, os destinos finais mais distantes serão sempre piores do ponto de vista ambiental, e conseqüentemente econômico, caso haja obrigatoriedade de pagamento pela neutralização do CO₂ equivalente gerado pelo transporte rodoviário dos resíduos: Em torno de 43% dos resultados apresentaram um maior custo para neutralização de CO₂ para a parcela do transporte do que para o processo de destinação final. Adicionalmente, em aproximadamente 30% dos resultados, a parcela referente ao transporte de resíduos apresentou resultados inferiores, porém bem próximos aos da parcela relativa ao processo de

destinação final. Estes números são coerentes com os resultados apresentados na literatura pesquisada.

- A reciclagem contribui para reduzir o potencial de aquecimento global para a maioria dos resíduos recicláveis estudados. Entretanto, alguns destes resíduos foram destinados pelo modelo para outras alternativas de destinação final, em função de serem a melhor opção encontrada pelo mesmo, observadas as condições de destinação para estes casos, em sua totalidade: Para o caso do resíduo madeira, em 71% dos casos o modelo indicou como melhor destino uma opção diferente da reciclagem; para os resíduos plástico e metal, em torno de 30% dos resultados do modelo foram para destinos distintos de reciclagem. No entanto, os demais resíduos recicláveis foram 100% destinados pelo modelo para destinos cujo processo é a reciclagem.
- Para quase 50% dos casos de resíduos que podem ser destinados para aterro, o CO₂ equivalente gerado por este processo é maior que o gerado pela incineração, o que está de acordo com resultados obtidos nas referências consultadas.

Em função dos resultados alcançados, em comparação com a bibliografia pesquisada, considera-se que os objetivos geral e específicos da tese foram atingidos, e conseqüentemente, que o conceito de GCV é aplicável para avaliar as oportunidades de melhora identificadas na gestão de resíduos das operações de E&P.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta tese apresenta um modelo matemático de programação inteira mista, para apoio à decisão sobre o melhor destino final para resíduos de operações de E&P de hidrocarbonetos. Entretanto, a metodologia descrita pode ser generalizada, uma vez que a destinação de resíduos é um problema existente em todas as indústrias, bem como em toda a cadeia do petróleo. Além disso, a filosofia do PCV permite ampliar ainda mais esta generalização, conforme recomendações para trabalhos futuros apresentadas a seguir.

7.1. OUTRAS ATIVIDADES DA CADEIA DE E&P

O gerenciamento de resíduos pode ser estudado em outras atividades da cadeia de E&P, como por exemplo, a construção de sondas, plataformas e barcos de apoio. Nestes casos, o modelo desta tese necessitaria de poucas modificações, em função das seguintes diferenças:

- Os resíduos gerados são basicamente os mesmos, porém, não há geração de resíduos oriundos das operações de perfuração, como lama de perfuração e cimento, que no presente estudo existem em quantidades importantes. Por outro lado, nos estaleiros onde são construídas as unidades, não há trituração de alimentos para descarte no mar, devendo este resíduo ser também descartado em terra.
- Como as atividades de construção de sondas, plataformas e barcos de apoio ocorrem em instalações em terra, seus licenciamentos ambientais são de responsabilidade dos órgãos estaduais e municipais. Adicionalmente, não há neste caso, referências comparativas dos padrões de geração e destinação conforme no presente estudo, onde foram utilizadas referências do IBAMA.

7.2. OUTRAS ATIVIDADES DA CADEIA DO PETRÓLEO

O gerenciamento de resíduos pode também ser considerado em outras atividades da cadeia do petróleo, tais como refino, distribuição, operações *onshore* de E&P, dentre outras. A exemplo do item anterior, nas atividades citadas o modelo apresentado neste

estudo necessitaria de modificações, maiores ou menores, em função das seguintes diferenças:

- No caso de operações *onshore* de E&P, como por exemplo, perfuração ou produção, os resíduos gerados são basicamente os mesmos. Inclusive no caso da perfuração *onshore* pode-se afirmar que são exatamente os mesmos. Entretanto, da mesma forma que em estaleiros, não há trituração de alimentos para descarte no mar, devendo este resíduo ser também descartado em terra. Estas diferenças aparentemente não demandariam muitas modificações no modelo desta tese. As operações de E&P *onshore* também costumam ser licenciadas pelos órgãos estaduais e municipais. Outrossim, também não há neste caso, referências comparativas dos padrões de geração e destinação conforme no presente estudo, onde foram utilizadas referências do IBAMA.
- Nas operações de refino os resíduos possuem complexidade ainda maior do que nas operações estudadas nesta tese, todavia, também com a diferença de que todos os resíduos são tratados ou descartados em terra. Segundo CONEGLIAN *et al.* (2006), o proceso de refino produz uma série de resíduos sólidos e líquidos, que podem ser tratados mediante vários processos de degradação, o que possivelmente poderá aumentar a complexidade do problema, exigindo provavelmente mudanças mais significativas na metodologia apresentada no presente estudo. Do mesmo modo que as atividades de construção de sondas, plataformas e barcos de apoio, as atividades de refino costumam ser licenciadas pelos órgãos estaduais e municipais. Similarmente, também não há, nesta situação, referências comparativas dos padrões de geração e destinação conforme nesta tese, onde foram utilizadas referências do IBAMA.
- A distribuição de derivados, como por exemplo de combustíveis e lubrificantes, gera resíduos bastante diferentes das operações abordadas neste trabalho. Entretanto, sua complexidade é bastante grande, pois os pontos de geração são diversos, e com localizações diferentes. Segundo o PROGRAMA JOGUE LIMPO (2012), do Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras – SINDICOM, até o mês de agosto de 2012 foram recicladas 157.026.340 embalagens de lubrificantes. Estas características tornam a logística mais complicada do que nesta tese, implicando, com razoável possibilidade, que a metodologia deste trabalho tenha que ser bastante modificada, a fim de estudar-se o problema à luz do PCV. Todas

as instalações de distribuição de derivados, isto é, bases, terminais e postos de serviços são licenciados pelos órgãos ambientais estaduais e municipais.

7.3. ABRANGÊNCIA DO PCV PARA OUTROS ASPECTOS AMBIENTAIS

Nesta tese o foco do estudo foi o gerenciamento de resíduos de operações de E&P. Todavia, outros aspectos ambientais importantes podem ser considerados, como por exemplo as emissões atmosféricas.

Seria interessante estudar a geração de gases de efeito estufa dos equipamentos das sondas ou plataformas, e também das operações de suporte logístico, como a movimentação de barcos de apoio e helicópteros.

Através do estudo das emissões dos equipamentos, pode ser possível minimizar a emissão de gases de efeito estufa em função da escolha por opções que gerem menores quantidades destes gases, dentre as disponíveis. Atualmente este não é fator considerado na escolha de equipamentos, uma vez que não é necessário pagar pela neutralização destes gases, como por exemplo, através do plantio de árvores, conforme proposto no presente trabalho.

A análise da quantidade de gases de efeito estufa gerados na movimentação de barcos de apoio e helicópteros, pode permitir a redução destas emissões, como por exemplo, através da minimização dos custos logísticos, porém inserindo-se os custos para neutralização dos gases de efeito estufa gerados, como foi feito no modelo apresentado nesta tese.

7.4. INSERÇÃO DE ASPECTOS SOCIAIS

A jornada em direção à sustentabilidade requer que as empresas encontrem maneiras inovadoras para serem rentáveis e ao mesmo tempo expandirem as fronteiras tradicionais do negócio para incluir as dimensões ambientais e sociais (UNEP, 2007). Desta forma, seria de interesse incluir na metodologia, por exemplo, a geração de empregos ao se optar pela aquisição de equipamentos nacionais, ao invés de importados. Tal consideração, aliás, já é requisito legal, através do conceito de conteúdo local, que é um compromisso com aquisição de bens e serviços na indústria

nacional: Os contratos de concessão firmados entre a ANP, em nome da União, e os consórcios ou companhias vencedores das rodadas de licitações apresentam uma cláusula – a 20ª – que obriga os operadores dos blocos a adquirirem um percentual de bens e serviços de fornecedores brasileiros, desde que estes ofereçam condições de preço, prazo e qualidade equivalentes às de fornecedores estrangeiros.

Os custos a inserir na metodologia poderiam ser, por exemplo, aqueles relativos a possíveis multas da citada Agência, em decorrência do não atendimento ao requisito mínimo de conteúdo local, que se somariam aos custos da aquisição propriamente dita, bem como aos necessários para neutralizar as emissões de gases de efeito estufa gerados tanto na produção quanto na operação de cada equipamento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCV – Associação Brasileira de Ciclo de Vida, Disponível em: <<http://www.abcvbrasil.org.br/index.php>>, Acessado em 15 Abr. 2012.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR ISO 14001: Sistemas da Gestão Ambiental – Requisitos com Orientações para Uso*, Rio de Janeiro, 2004.
- _____, *NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário*, Rio de Janeiro, 2005.
- _____, *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura*, Rio de Janeiro, 2001.
- _____, *NBR ISO 14041: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição de Objetivo e escopo e Análise do Inventário*, Rio de Janeiro, 1998.
- _____, *NBR ISO 14042: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida*, Rio de Janeiro, 2000.
- _____, *NBR ISO 14043 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Interpretação do Ciclo de Vida*, Rio de Janeiro, 2000.
- AYRES, R., FERRER, G., LEYSEELE, T., 1997, “Eco-Efficiency, Asset Recovery and Remanufacturing”, *European Management Journal*, v. 15, n. 5 (Out), pp. 557-574.
- AZZONE, G. e NOCI, G., 1998, “Seeing ecology and “green” innovations as a source of change”, *Journal of Organizational Change Management*, V. 11 n. 2, pp. 94-111, MCB University Press, 0953-4814.
- BALLOU, R. H., *Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física*, Editora Atlas, São Paulo, 1993
- BENITEZ, F., PASTOR, S., LAMIÑO, M., 2006, “A Tecnologia no Desenvolvimento em Áreas Ambientalmente Sensíveis”, *Rio Oil & Gas*, IBP1640_06, Rio de Janeiro, Brasil, 11-14 Setembro.

- BENITEZ, P. C., OBERSTEINER, M., 2006, "Site Identification for Carbon Sequestration in Latin America: A Grid-Based Economic Approach", *Forest Policy and Economics*, 8, 636– 651.
- BLENGINI, G. A., FANTONI, M., BUSTO, M., *et al.*, 2012, "Participatory approach, acceptability and transparency of waste management LCAs: Case studies of Torino and Cuneo", *Waste Management*, Disponível *online* em 12 Maio, 2012.
- BRANDÃO, M., LEVASSEUR A., KIRSCHBAUM M. U. F., *et al.*, 2012. "Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting", *International Journal of Life Cycle Assessment*, Online First™.
- BRENNAN, L., GUPTA, S.M., TALEB, K.N., 1994, "Operations Planning Issues in an Assembly/Disassembly Environment, *International Journal of Operations and Production Management*, v. 14, n. 9, pp. 57-67.
- CALDEIRA, K., DAVIES, S. J., 2011, "Accounting for carbon dioxide emissions: A matter of time", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 108, n. 21.
- CAPES – Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>, Acessado durante o desenvolvimento da tese, até Jan. 2012.
- CARSTEN, N., MEYER, P., 1999, "Caught between ecology and economy: end-of-life aspects of environmentally conscious manufacturing", *Computers & Industrial Engineering*, v. 36, pp. 781-792.
- CARVALHO, P. R. S., FERREIRA FILHO, V. J. M., MOYANO, I. S., *et al.*, 2008, "A Logística Reversa Aplicada às Operações de Perfuração Exploratória Offshore", *Rio Oil & Gás*, IBP2443_08, Rio de Janeiro, Brasil, 15-18 Setembro.
- CHONG, E. K. P., ZAK, S. H., 2001, *An Introduction to Optimization*, New York, NY, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- CONAMA - *Conselho Nacional do Meio Ambiente*, "Resolução CONAMA Nº 237", de 19/12/1997.

- CONAMA - *Conselho Nacional do Meio Ambiente*, “Resolução CONAMA Nº 264”, de 26/08/1999.
- CONEGLIAN, C. M. R., SIVIERO, A. R., POLETTI, E. C. C., *et al.*, 2006, “Evaluation of Biodegradation in the Soil of Oil Residues from a Petroleum Refinery”, *Holos Environment*, v. 6, n. 2, pp. 106.
- COSTA, L. M. G., 2009, *Desenvolvimento de um Modelo Econômico - Baseado no Sistema Depósito Reembolsável – Visando o Equilíbrio entre a Geração e a Reciclagem do Resíduo Sólido Pneu*, Tese de DSc., Programa de Engenharia de Produção, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- COSTA, I. V. L., 2009, *Análise do Potencial Técnico do Sequestro Geológico de CO2 no Setor Petróleo no Brasil*, Dissertação de MSc., Programa de Planejamento Energético, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1991, *Nosso Futuro Comum*, Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getúlio Vargas.
- CSCMP, 2005, *Supply Chain and Logistics Terms and Glossary*, Council of Supply Chain Management Professionals, Updated February.
- CUNHA, L. O., ALVES, J. M., 2008, “Um Organismo Acreditado de Certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade Contribuindo para Garantir a Segurança de Vôo”, *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, TN_STO_070_499_11416, Rio de Janeiro, Brasil, 13-18 Outubro.
- CURRAN, M. A. *Environmental life-cycle analysis*. New York: McGraw-Hill, 1996.
- DANTZIG, G. B., THAPA, M. N., 1997, *Linear Programming, 1: Introduction*, New York, NY, USA, Springer-Verlag.
- DAUB, C. H., 2007, “Assessing the Quality of Sustainability Reporting: An Alternative Methodological Approach.”, *Journal of Cleaner Production*, v. 15, pp. 75-85.

- DEKKER, R., BLOEMHOFF, J., MALLIDIS, I., 2012, “Operations Research for Green Logistics – An Overview of Aspects, Issues, Contributions and Challenges”, *European Journal of Operational Research*, v. 219, 3, pp 671–679.
- EC – European Commission, 2012, Life Cycle Thinking and Assessment - Our Thinking - Life Cycle Thinking, Disponível em:<http://lct.jrc.ec.europa.eu/index_jrc>, Acessado em 2 Jun. 2012.
- FAVA, J. A., DENISON R., JONES B., *et al.*, 1991. “A technical framework for life-cycle assessments”. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC). Washington, DC. 134 pp.
- FLEISCHMANN, M., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., DEKKER, R., *et al.*, 1997, “Quantitative Models for Reverse Logistics”, *European Journal of Operational Research*, v. 103, pp. 1-17.
- FOUREAUX, A., COSTA, C., 2006, “Gestão Integrada de SMS”, *Rio Oil & Gas*, IBP1273_06, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 11-14 Setembro.
- FULLER, D. A., ALLEN, J., 1995, *Reverse Channel Systems*, Nova Iorque, Haworth Press.
- GIL, Antonio Carlos, 2009, *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*, São Paulo, Brasil, Editora Atlas.
- GUNGOR, A., GUPTA, S.M., 1999, “Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey”, *Computers & Industrial Engineering*, v. 36, pp. 811-853.
- GUSMÃO, ACF, DE MARTINI, LC, 2009, *Gestão Ambiental na Indústria*, SMS Digital, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- HERTWICH, E. G., PETERS, G. P., 2009, “Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis”, *Environmental Science Technology*, 43, 6414–6420.
- HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J., 2001, *Introduction to Operations Research*, New York, NY, USA, McGraw Hill.

- HOLCIM – Disponível em: <<http://www.holcim.com.br/pt/produtos-e-servicos/resotec/coprocessamento/coprocessamento-e-producao-de-cimento.html>>, Acessado em 19 Out. 2011.

- HU, T., SHEU, J., HUANG, K., 2002, “A Reverse Logistics Cost Minimization Model for the Treatment of Hazardous Wastes”, *Transportation Research*, v. 38, n. 6 (Mar), pp. 457-473.

- IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001, *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2006, *Termo de Referência ELPN/IBAMA para Elaboração do Relatório de Controle Ambiental - RCA, para a Atividade de Perfuração Marítima nos Blocos da Companhia estudada*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2011, *Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA No 01/11- Projeto de Controle da Poluição*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- ICB - Instituto Carbono Brasil – Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/>>, Acessado em 13 Fev. 2012.

- IDROGO, A. A. A., 2003, *Sistema Integrado de Gestão da Qualidade, Meio Ambiente e Saúde e Segurança no Trabalho – Um Modelo para a Pequena Empresa*, Tese de DSc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

- IDROGO, A. A. A., RAMOS, C. S., VICENTINO, H. C. R., *et al.*, 2008, “Sistema Integrado de Gestão - Experiência em uma Empresa de Esquadria de Alumínio e Vidros”, *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, TN_STO_069_490_11880, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-16 Outubro.

- ILO – *International Labour Organization*, Disponível em: <<http://www.ilo.org/safework/events/safeday> >, Acessado em 15 Abr. 2012.

- IPCC, 2006, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds), IGES, Japan.
- JENSEN, A. A., HOFFMAN L., MØLLER B. T., *et al.*, 1997. "Life Cycle Assessment (LCA) - A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources.", *European Environmental Agency*, Environmental Issues Series no. 6, 119 pp.
- JESWANI, H. K., SMITH R. W., ASAPAGIC A. , 2012. "Energy from Waste: Carbon Footprint of Incineration and Landfill Biogas in the UK", *International Journal of Life Cycle Assessment*, Online First™.
- JOHNSON, M.R., WANG, M.H., 1995, "Planning Product Disassembly for Material Recovery Opportunities", *International Journal of Production Research*, v. 33, n. 11, pp. 3119-3142.
- JØRGENSEN, T. H., 2008, "Towards More Sustainable Management Systems: Through Life Cycle Management and Integration", *Journal of Cleaner Production*, 16, 1071-1080.
- KOPICKI, R. J., BERG, M. J., LEGG, L., *et al.*, 1993, *Reuse and Recycling: Reverse Logistics Opportunities*. Oak Brook, IL, Council of Logistics Management Books.
- LAAN, E.V., SALOMON, M., 1997, "Production Planning and Inventory Control with Remanufacturing and Disposal", *European Journal of Operational Research*, v. 102, pp. 264-278.
- LACERDA, J. S., COUTO, H. T. Z., HIROTA, M. M., PASISHNYK, N., POLIZEL, J. L., 2009, "Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas", *METRVM*, n.5, Novembro.
- LAZAREVIC, D., BUCLET, N., BRANDT, N., 2012, "The application of life cycle thinking in the context of European waste policy", *Journal of Cleaner Production*, 29-30, 199-207.

- LEAL, S., 1999, *Modelação Matemática: Uma Proposta Metodológica para o Curso de Economia*, Dissertação de MSc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- LEITE, P. R., 2003, *Logística Reversa – Meio Ambiente e Competitividade*, Editora Prentice Hall Brasil.
- LORA, E. S., *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*, Brasília, DF, ANEEL, 2000
- LUCENA, A. E. F.L., RODRIGUES, J. K. G., FERREIRA, H. C., et al., 2008, “Ensaíos Asfálticos Utilizando Resíduos de Perfuração Onshore”, *Rio Oil & Gas*, IBP1905_08, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 15-18 Setembro.
- MADU, C.N., 1996, “A Framework for Environmental Quality Assessment”, *International Journal of Quality Science*, v. 1 n. 3, pp. 24-38. MCB University Press, 1359-8538.
- MAHADEVAN, B., PYKE, D.F., FLEISCHMANN, M., 2003, “Periodic Review, Push Inventory Policies for Remanufacturing”, *European Journal of Operational Research*, pp. 1-16.
- MARIANO, J. B., LA ROVERE, E. L., 2006, “Impactos Ambientais da Exploração e Produção de Petróleo em Áreas Offshore”, *Rio Oil & Gas*, IBP1148_06, Rio de Janeiro, Brasil, 11-14 Setembro.
- MARINGOLO, V., 2001, *Clínquer Co-processado: Produto de Tecnologia Integrada para Sustentabilidade e Competitividade da Indústria de Cimento*, Tese de DSc., Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- MARTINS, A. A. B., RABELO, S. K. L., FREIRE, M. G. M., 2008, “Estudo de Caso Aplicado ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Instalações Marítimas de Produção de Petróleo da Bacia de Campos”, *Perspectivas Online*, v. 5, n. 2.
- MERCANTE, I. T., MOVEA, M. D., FORÉS, V. I., et al., 2012, “Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management Systems: A

Spanish Case Study”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 17, n. 2, pp. 232–241.

- MONEVA, J. M., ARCHEL, P., CORREA, C., 2006, “GRI and the Camouflaging of Corporate Unsustainability”, *Accounting Forum* 30, pp. 121–137.
- NOCEDAL, J. , WRIGHT, S. J., 1999, *Numerical Optimization*, New York, NY, USA, Springer-Verlag.
- NTC - Associação Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas. *Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte rodoviário de Cargas*. São Paulo, 2001, Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/pdffiles/MANUAL.pdf>>, Acessado em 15 de Outubro de 2011.
- OHSAS - *Occupational Health and Safety Assessment Series, OHSAS 18001: Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements*, OHSAS Project Group, 2007.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS – Disponível em: <<http://www.ogp.org.uk>>, Acessado durante o desenvolvimento da tese, até Jan. 2012.
- OIT – Organização Internacional do Trabalho. Dia Mundial da Segurança e Saúde no Trabalho 2008. Disponível em: < <http://www.oitbrasil.org.br/28deabril.php>>. Acesso em: 15 abr. 2008.
- OMETTO, A., GUELERE FILHO, A., 2008, “Discussão do Sistema da Gestão Ambiental - ISO 14.001 como Instrumento de Viabilidade Ambiental”, *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, TN_STO_077_542_11587, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-16 Outubro.
- PAULISTA, P. H., TURRIONI, J. B., 2008, “Análise do Processo de Realização de Auditoria de Sistema de Gestão da Qualidade: Principais Problemas”, *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, TN_STP_069_490_11317, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-18 Outubro.

- PIRES, A., CHANG N. B., MARTINHO, G. 2011, “Reliability-based life cycle assessment for future solid waste management alternatives in Portugal”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 16, pp. 316–337.
- POHLEN, T.L., FARRIS, T., 1992, “Reverse Logistics in Plastics Recycling”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 22, n. 7, pp. 35-47.
- PROGRAMA JOGUE LIMPO – *Programa Jogue Limpo*, Disponível em: <<http://www.programajoguelimpo.com.br>>, Acessado em 26 Ago. 2012.
- RATHMANN, R., SZKLO, A., SCHAEFFER, R., MERSCHMANN, P. R. C., 2010, “Respostas de Empresas de Petróleo Seleccionadas para Lidar com o Risco Carbono”, *Rio Oil & Gas*, IBP2042_10, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-16 Setembro.
- REVLOG – *The European Working Group on Reverse Logistics*, Disponível em: <<http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/welcome.html>>, Acessado em 11 Out. 2006.
- RIBEIRO, P. H., 2009, *Contribuição ao Banco de Dados Brasileiro para Apoio à Avaliação de Ciclo de Vida: Fertilizantes Nitrogenados*, Tese de DSc., Programa de Engenharia Química, USP, São Paulo, SP, Brasil.
- RIGZONE – Disponível em: <<http://www.rigzone.com/data/dayrates/>>, Acessado em 11 Dez. 2011.
- RIO OIL & GAS – Disponível em: <<http://www.riooilegas.com.br>>, Acessado durante o desenvolvimento da tese, até Jan. 2012.
- ROGERS, D. S; TIBBEN-LEMBKE, R., 2001, “An Examination of Reverse Logistics Practices”, *Journal of Business Logistics*, v. 22, n. 02.
- RODRIGUES, C. R. B., ZOLDAN, M. A., LEITE, M. L. G., *et al.*, 2008, “Sistemas Computacionais de Apoio a Ferramenta Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV)”, *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, TN_STO_077_540_12138, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-16 Outubro.

- RODRIGUES, R. R; GANDOLFI, S., NAVE, A. G., *et al.*, 2011, “Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil”, *Forest Ecology and Management*, 261, 1605–1613.
- SALLES, A. C. N., 2009, *Emissões de Gases do Efeito Estufa dos Dormentes de Ferrovia de Madeira Natural e de Madeira Plástica no Brasil e na Alemanha com Base nos seus Ciclos de Vida*, Tese de DSc., Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SALTER, E., e FORD, J., 2001, “Holistic Environmental Assessment and Offshore Oil Field Exploration and Production”, *Marine Pollution Bulletin*, v. 42, n. 1, pp. 45-58, Elsevier Science Ltd.
- SCHICHL, H., 2003, *Mathematical Modeling and Global Optimization*, New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- SIMÕES, J. C. P., 2002, *A Logística Reversa Aplicada à Exploração e Produção de Petróleo*, Tese MSc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- SMMARJ – Secretaria do Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro, 2011, *Inventário e Cenário de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro - Resumo Técnico*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SEESP – Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2011, *Matriz Energética do Estado de São Paulo - 2035*, São Paulo, SP, Brasil.
- SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS – Disponível em: <<http://www.spe.org>>, Acessado durante o desenvolvimento da tese, até Jan. 2012.
- SOUZA, C. O., 2010, *Logística Verde Aplicada ao Gerenciamento de Resíduos de Sondas de Exploração Offshore*, Dissertação de MSc., Programa de Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SOUZA, A. A., BERNARDI, T. P., SALVADOR, M. C., *et al.*, 2008, “Manati: Riscos, Incertezas e Tecnologia no Desenvolvimento de um Campo de Gás *Offshore* no Brasil”, *Rio Oil & Gas*, IBP2168_08, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 15-18 Setembro.

- SPENGLER, T., PÚCHERT, H., PENKUHN, T., *et al.*, 1997, “Environmental Integrated Production and Recycling Management”, *European Journal of Operational Research*, v. 97, n. 2 (Mar), pp. 308-326.
- TORRES, A. B., MARCHANT, R., LOVETT, J. C., *et al.*, 2010, “Analysis of the carbon sequestration costs of afforestation and reforestation agroforestry practices and the use of cost curves to evaluate their potential for implementation of climate change mitigation”, *Ecological Economics* 69, 469–477.
- TSOULFAS, G. T., PAPPIS, C. P., 2005, “Environmental Principles Applicable to Supply Chains Design and Operation”, *Journal of Cleaner Production*.
- UBEDA, S., ARCELUS, F. J., FAULIN, J., *et al.*, 2011, “Green Logistics at Eroski: A Case Study”, *International Journal of Production Economics*, v. 131, pp. 44–51.
- UNEP – United Nations Environmental Programme, 2007, *Life Cycle Management - A Business Guide to Sustainability*, França.
- US EIA - United States Energy Information Administration, Disponível em <<http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=WEPCBRENT&f=W>>, Acessado em 03 Jan. 2010.
- VANDERBEI, R. J., 2001, *Linear Programming: Foundations and Extensions*, Princeton, NJ, USA, Springer.
- VERGARA, S. C., 2009, *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. São Paulo, SP, Brasil, Editora Atlas.
- VIANA, M. M., 2008, *Inventário de Ciclo de Vida do Biodiesel Etílico do Óleo de Girassol*, Dissertação de MSc., Programa de Engenharia Química, USP, São Paulo, SP, Brasil.
- VIGON, B. W., TOLLE D. A., CORNABY B. W., *et al.*, 1997, “Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles.”, Cincinnati: EPA, 1993, 108 pp., EPA/600/R-92/245.

- WOLSEY, L. A., 1998, *Integer Programming*, New York, NY, USA, John Wiley & Sons, Inc.

- XAVIER, L. H., 2004, “A Logística e a Gestão Ambiental: Convergência para o Sucesso Organizacional”, *VII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI)*, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, SP, Brasil.

9. APÊNDICES

9.1. FORMULAÇÃO DO MODELO PROPOSTO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA MISTA EM MOSEL

```
(!*****  
  
    Modelo de Programação Inteira Mista  
  
    Paulo Roberto dos Santos Carvalho - COPPE - UFRJ - 2012  
  
*****! )  
model "Modelagem_tese"  
    uses "mmxprs", "mmmodbc", "mmive", "mmsystem"  
  
parameters  
banco_de_dados = "mmmodbc.odbc:debug; dados_tese_paulo_2_trimestre_2009_10_06_2012.mdb"  
    ALG = 0  
end-parameters  
  
declarations  
|  
    !===== QUANTIDADE DOS RESÍDUOS =====  
  
    QUANTBOMBONA=338  
    QUANTRESIDUO=15838  
    QUANTLAMA=396462  
    QUANTMADEIRA=11082  
    QUANTTAMBOR=2928  
    QUANTOLEO = 97  
    QUANTCIMENTO=705  
    QUANTMETAL=30985  
    QUANTORGANICO=720  
    QUANTPAPEL=2710  
    QUANTPLASTICO=2732  
    QUANTVIDRO=171  
    QUANTNAORECICLAVEL=6737  
    QUANTQUIMICO=0  
    QUANTHOSPITALAR=0  
    QUANTPILHA=0  
    QUANTLAMPADA=0  
    QUANTAEROSOL=0  
    QUANTOLEOCOZINHA=0
```

```

(!=====!)

!===== CUSTO DE NEUTRALIZAÇÃO DO CO2 =====

CUSTONEUTC02=0.714*170

(!=====!)

! array com o nome dos resíduos
  RESIDUO2 : set of string
  RESIDUO3 : set of string
  RESIDUO4 : set of string
  RESIDUO5 : set of string
  RESIDUO6 : set of string
  RESIDUO7 : set of string

! array com o nome dos destinos
  DESTINO2 : set of string
  DESTINO3 : set of string
  DESTINO4 : set of string
  DESTINO5 : set of string
  DESTINO6 : set of string
  DESTINO7 : set of string

  TRANSPORT: set of string

  TIPOCAMINHAO: set of string
  CUSTOKM: real

  CUSTOTRANSP: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO) of real
  CAPTRANSP: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO) of real

```

QUANTRECICLAGEM: array(RESIDUO2) of real
DISTANCIA2:array(RESIDUO2,DESTINO2) of integer ! viagem percorrida pelo resíduo até o destino final
DESTINORECICLAGEM:dynamic array(DESTINO2) of real
NOTARECICLAGEM:dynamic array(DESTINO2) of real

CUSTODESTINORECICLAGEM: array(RESIDUO2,DESTINO2) of real
CO2TRANSPORTERECICLAGEM: array(RESIDUO2,DESTINO2) of real
CO2PROCESSAMENTORECICLAGEM: array(RESIDUO2,DESTINO2) of real

QUANTINCINERA: array(RESIDUO3) of real
DISTANCIA3:array(RESIDUO3,DESTINO3) of real
DESTINOINCINERACAO:dynamic array(DESTINO3) of real
NOTAINCINERACAO:dynamic array(DESTINO3) of real

CUSTODESTINOINCINERACAO: array(RESIDUO3,DESTINO3) of real
CO2TRANSPORTEINCINERACAO: array(RESIDUO3,DESTINO3) of real
CO2PROCESSAMENTOINCINERACAO: array(RESIDUO3,DESTINO3) of real

QUANTATERRO: array(RESIDUO4) of real
DISTANCIA4:array(RESIDUO4,DESTINO4) of real
DESTINOATERRO:dynamic array(DESTINO4) of real
NOTAATERRO:dynamic array(DESTINO4) of real

CUSTODESTINOATERRO: array(RESIDUO4,DESTINO4) of real
CO2TRANSPORTEATERRO: array(RESIDUO4,DESTINO4) of real
CO2PROCESSAMENTOATERRO: array(RESIDUO4,DESTINO4) of real

QUANTRERREFINO: array(RESIDUO5) of real
DISTANCIA5:array(RESIDUO5,DESTINO5) of real
DESTINORERREFINO:dynamic array(DESTINO5) of real
NOTARERREFINO:dynamic array(DESTINO5) of real

```
CUSTODESTINORERREFINO: array(RESIDUOS,DESTINOS) of real
CO2TRANSPORTERERREFINO: array(RESIDUOS,DESTINOS) of real
CO2PROCESSAMENTORERREFINO: array(RESIDUOS,DESTINOS) of real
```

```
QUANTREUSO: array(RESIDUO6) of real
DISTANCIA6:array(RESIDUO6,DESTINO6) of real
DESTINOREUSO:dynamic array(DESTINO6) of real
NOTAREUSO:dynamic array(DESTINO6) of real
```

```
CUSTODESTINOREUSO: array(RESIDUO6,DESTINO6) of real
CO2TRANSPORTEREUSO: array(RESIDUO6,DESTINO6) of real
CO2PROCESSAMENTOREUSO: array(RESIDUO6,DESTINO6) of real
```

```
QUANTCOPROCESSAMENTO: array(RESIDUO7) of real
CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO: array(RESIDUO7,DESTINO7) of real
CO2TRANSPORTECOPROCESSAMENTO: array(RESIDUO7,DESTINO7) of real
CO2PROCESSAMENTOCOPROCESSAMENTO: array(RESIDUO7,DESTINO7) of real
```

```
DISTANCIA7:array(RESIDUO7,DESTINO7) of real
DESTINOCOPROCESSAMENTO:dynamic array(DESTINO7) of real
NOTACOPROCESSAMENTO:dynamic array(DESTINO7) of real
```

```
end-declarations
```

```
initializations from banco_de_dados
```

```
DESTINORECICLAGEM as "DESTINORECICLAGEM(DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOINCINERACAO as "DESTINOINCINERACAO(DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOATERRO as "DESTINOATERRO(DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINORERREFINO as "DESTINORERREFINO(DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOCOPROCESSAMENTO as "DESTINOCOPROCESSAMENTO(DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOREUSO as "DESTINOREUSO(DESTINO,CAPACIDADE) "
```

```
!=====
```

```

CUSTODESTINORECICLAGEM as "CUSTODESTINORECICLAGEM (RESIDUO, DESTINO, CUSTO) "
CO2TRANSPORTERECICLAGEM as "CUSTODESTINORECICLAGEM (RESIDUO, DESTINO, CO2TRANSPORTE) "
CO2PROCESSAMENTORECICLAGEM as "CUSTODESTINORECICLAGEM (RESIDUO, DESTINO, CO2PROCESSO) "

CUSTODESTINOINCINERACAO as "CUSTODESTINOINCINERACAO (RESIDUO, DESTINO, CUSTO) "
CO2TRANSPORTEINCINERACAO as "CUSTODESTINOINCINERACAO (RESIDUO, DESTINO, CO2TRANSPORTE) "
CO2PROCESSAMENTOINCINERACAO as "CUSTODESTINOINCINERACAO (RESIDUO, DESTINO, CO2PROCESSO) "

CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO as "CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO (RESIDUO, DESTINO, CUSTO) "
CO2TRANSPORTECOPROCESSAMENTO as "CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO (RESIDUO, DESTINO, CO2TRANSPORTE) "
CO2PROCESSAMENTOCOPROCESSAMENTO as "CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO (RESIDUO, DESTINO, CO2PROCESSO) "

CUSTODESTINOATERRO as "CUSTODESTINOATERRO (RESIDUO, DESTINO, CUSTO) "
CO2TRANSPORTEATERRO as "CUSTODESTINOATERRO (RESIDUO, DESTINO, CO2TRANSPORTE) "
CO2PROCESSAMENTOATERRO as "CUSTODESTINOATERRO (RESIDUO, DESTINO, CO2PROCESSO) "

CUSTODESTINOREUSO as "CUSTODESTINOREUSO (RESIDUO, DESTINO, CUSTO) "
CO2TRANSPORTEREUSO as "CUSTODESTINOREUSO (RESIDUO, DESTINO, CO2TRANSPORTE) "
CO2PROCESSAMENTOREUSO as "CUSTODESTINOREUSO (RESIDUO, DESTINO, CO2PROCESSO) "

CUSTODESTINORERREFINO as "CUSTODESTINORERREFINO (RESIDUO, DESTINO, CUSTO) "
CO2TRANSPORTERERREFINO as "CUSTODESTINORERREFINO (RESIDUO, DESTINO, CO2TRANSPORTE) "
CO2PROCESSAMENTORERREFINO as "CUSTODESTINORERREFINO (RESIDUO, DESTINO, CO2PROCESSO) "

/=====

NOTAINCINERACAO as "DESTINOINCINERACAO (DESTINO, NOTA) "
NOTARECICLAGEM as "DESTINORECICLAGEM (DESTINO, NOTA) "
NOTAATERRO as "DESTINOATERRO (DESTINO, NOTA) "
NOTARERREFINO as "DESTINORERREFINO (DESTINO, NOTA) "
NOTACOPROCESSAMENTO as "DESTINOCOPROCESSAMENTO (DESTINO, NOTA) "
NOTAREUSO as "DESTINOREUSO (DESTINO, NOTA) "

```

```

/=====
DISTANCIA2 as "RECICLAGEM(RESIDUO,DESTINO,DISTANCIA) "
DISTANCIA3 as "INCINERACAO(RESIDUO,DESTINO,DISTANCIA) "
DISTANCIA4 as "ATERRO(RESIDUO,DESTINO,DISTANCIA) "
DISTANCIA5 as "RERREFINO(RESIDUO,DESTINO,DISTANCIA) "
DISTANCIA6 as "REUSO(RESIDUO,DESTINO,DISTANCIA) "
DISTANCIA7 as "COPROCESSAMENTO(RESIDUO,DESTINO,DISTANCIA) "
/=====

[CAPTRANSP,CUSTOTRANSP] as "TRANSPORTADORA"

CUSTOKM
end-initializations

declarations

/ ===== VARIÁVEIS DE DECISÃO =====

fluxo2: array(RESIDUO2,DESTINO2) of mpvar
fluxo3: array(RESIDUO3,DESTINO3) of mpvar
fluxo4: array(RESIDUO4,DESTINO4) of mpvar
fluxo5: array(RESIDUO5,DESTINO5) of mpvar
fluxo6: array(RESIDUO6,DESTINO6) of mpvar
fluxo7: array(RESIDUO7,DESTINO7) of mpvar

qdcaminhao2: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO2, DESTINO2) of mpvar
qdcaminhao3: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO3, DESTINO3) of mpvar
qdcaminhao4: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO4, DESTINO4) of mpvar
qdcaminhao5: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO5, DESTINO5) of mpvar
qdcaminhao6: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO6, DESTINO6) of mpvar
qdcaminhao7: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO7, DESTINO7) of mpvar

end-declarations

```

! ===== FUNÇÃO OBJETIVO =====

*!Deseja-se minimizar os custos de transporte e de destinação final,
!para cada tipo de tratamento.*

!=====

!===== CO2 TRANSPORTE =====

CO2TRANSPORTEREC:=sum(r in RESIDUO2, d in DESTINO2) CO2TRANSPORTERECICLAGEM(r,d)
CO2TRANSPORTEINC:=sum(r in RESIDUO3, d in DESTINO3) CO2TRANSPORTEINCINERACAO(r,d)
CO2TRANSPORTEAT:=sum(r in RESIDUO4, d in DESTINO4) CO2TRANSPORTEATERRO(r,d)
CO2TRANSPORTERERREF:=sum(r in RESIDUO5, d in DESTINO5) CO2TRANSPORTERERREFINO(r,d)
CO2TRANSPORTEREUS:=sum(r in RESIDUO6, d in DESTINO6) CO2TRANSPORTEREUSO(r,d)
CO2TRANSPORTECOPROC:=sum(r in RESIDUO7, d in DESTINO7) CO2TRANSPORTECOPROCESSAMENTO(r,d)

!===== CUSTOS DE TRANSPORTE =====

CUSTOTANSREC:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO2, d in DESTINO2) CUSTOTANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA2(r,d)*qdcaminhao2(t,tc,r,d)
CUSTOTANSINC:= sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO3, d in DESTINO3) CUSTOTANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA3(r,d)*qdcaminhao3(t,tc,r,d)
CUSTOTANSATERRO:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO4, d in DESTINO4) CUSTOTANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA4(r,d)*qdcaminhao4(t,tc,r,d)
CUSTOTANSREF:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO5, d in DESTINO5) CUSTOTANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA5(r,d)*qdcaminhao5(t,tc,r,d)
CUSTOTANSREUSO:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO6, d in DESTINO6) CUSTOTANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA6(r,d)*qdcaminhao6(t,tc,r,d)
CUSTOTANS COPR:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO7, d in DESTINO7) CUSTOTANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA7(r,d)*qdcaminhao7(t,tc,r,d)

!===== CUSTOS DE DESTINAÇÃO =====

CUSTODESTINOREC:= sum(r in RESIDUO2, d in DESTINO2 | d="Empresa F" or d="Empresa E") CO2PROCESSAMENTORECICLAGEM(r,d)
CUSTONEUTC02(1+(100-NOTARECICLAGEM(d))/100)*CUSTODESTINORECICLAGEM(r,d)*fluxo2(r,d)

CUSTODESTINORECNEG:= sum(r in RESIDUO2, d in DESTINO2 | d="Empresa H" or d="Empresa G" or d="Empresa L") CO2PROCESSAMENTORECICLAGEM(r,d)
CUSTONEUTC02(1+(100-NOTARECICLAGEM(d))/100)*CUSTODESTINORECICLAGEM(r,d)*fluxo2(r,d)

CUSTODESTINOINC:= sum(r in RESIDUO3, d in DESTINO3) CO2PROCESSAMENTOINCINERACAO(r,d)*CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTAINCINERACAO(d))/100)
*CUSTODESTINOINCINERACAO(r,d)*fluxo3(r,d)

- |

```

CUSTODESTINOATER:= sum(r in RESIDUO4, d in DESTINO4) CO2PROCESSAMENTOATERRO(r,d) *CUSTONEUTC02 * (1+(100-NOTAATERRO(d))/100)
*CUSTODESTINOATERRO(r,d) *fluxo4(r,d)

CUSTODESTINOREF:= sum(r in RESIDUO5, d in DESTINO5) CO2PROCESSAMENTORERREFINO(r,d) *CUSTONEUTC02
*(1+(100-NOTARERREFINO(d))/100) *CUSTODESTINORERREFINO(r,d) *fluxo5(r,d)

CUSTODESTINOREU:= sum(r in RESIDUO6, d in DESTINO6) CO2PROCESSAMENTOREUSO(r,d) *CUSTONEUTC02 * (1+(100-NOTAREUSO(d))/100)
*CUSTODESTINOREUSO(r,d) *fluxo6(r,d)

CUSTODESTINOCOPR:= sum(r in RESIDUO7, d in DESTINO7) CO2PROCESSAMENTOCOPROCESSAMENTO(r,d) *CUSTONEUTC02
*(1+(100-NOTACOPROCESSAMENTO(d))/100) *CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO(r,d) *fluxo7(r,d)

!===== CUSTO TOTAL =====

!TotCost:=CUSTOTRANSREC+CUSTOTRANSINC+CUSTOTRANSATERRO+CUSTOTRANSREF+CUSTOTRANSREUSO+CUSTOTRANSOPR+
!CUSTODESTINOREC+CUSTODESTINORECNEG+CUSTODESTINOINC+CUSTODESTINOATER+CUSTODESTINOREF+CUSTODESTINOREU+CUSTODESTINOCOPR

TotCost:= CUSTOTRANSREC+CUSTOTRANSINC+CUSTOTRANSATERRO+CUSTOTRANSREF+CUSTOTRANSREUSO+CUSTOTRANSOPR+CUSTODESTINOREC
+CUSTODESTINORECNEG+CUSTODESTINOINC+CUSTODESTINOATER+CUSTODESTINOREF+CUSTODESTINOREU+CUSTODESTINOCOPR

!=====

!Limitação da capacidade dos destinos (R1) até (R6)

forall(d in DESTINO2) sum(r in RESIDUO2) fluxo2(r,d) <= DESTINORECICLAGEM(d)
forall(d in DESTINO3) sum(r in RESIDUO3) fluxo3(r,d) <= DESTINOINCINERACAO(d)
forall(d in DESTINO4) sum(r in RESIDUO4) fluxo4(r,d) <= DESTINOATERRO(d)
forall(d in DESTINO5) sum(r in RESIDUO5) fluxo5(r,d) <= DESTINORERREFINO(d)
forall(d in DESTINO6) sum(r in RESIDUO6) fluxo6(r,d) <= DESTINOREUSO(d)
forall(d in DESTINO7) sum(r in RESIDUO7) fluxo7(r,d) <= DESTINOCOPROCESSAMENTO(d)

!=====

```

'Obriga que todo resíduo armazenado temporariamente, será transportado (R7) até (R12)

```
forall(r in RESIDUO2) sum(d in DESTINO2) fluxo2(r,d) >= QUANTRECICLAGEM(r)
forall(r in RESIDUO3) sum(d in DESTINO3) fluxo3(r,d) >= QUANTINCINERA(r)
forall(r in RESIDUO4) sum(d in DESTINO4) fluxo4(r,d) >= QUANTATERRO(r)
forall(r in RESIDUO5) sum(d in DESTINO5) fluxo5(r,d) >= QUANTRERREFINO(r)
forall(r in RESIDUO6) sum(d in DESTINO6) fluxo6(r,d) >= QUANTREUSO(r)
forall(r in RESIDUO7) sum(d in DESTINO7) fluxo7(r,d) >= QUANTCOPROCESSAMENTO(r)
```

!=====
!!!Restrições que compartilham os resíduos em diferentes tipos de tratamento

```
forall(r = "Bomb_Contaminada") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d6 in DESTINO6)fluxo6(r,d6) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTBOMBONA
```

```
forall(r = "Residuo_contaminado") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7)
= QUANTRESIDUO
```

```
forall(r = "Lama_perfuracao") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTLAMA
```

```
forall(r = "tambor_contaminado") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d6 in DESTINO6)fluxo6(r,d6) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7)
= QUANTTAMBOR
```

```
forall(r = "madeira") sum(d2 in DESTINO2)fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4)
+ sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTMADEIRA
```

```
forall(r = "oleo_usado") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d5 in DESTINO5)fluxo5(r,d5)
|+ sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTOLEO
```

```
forall(r = "cimento") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTCIMENTO
```

```
forall(r = "metal") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d6 in DESTINO6)fluxo6(r,d6) = QUANTMETAL
```

```
forall(r = "organico") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTORGANICO
```

```

forall(r = "papel") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4)
+ sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTPAPEL

forall(r = "plastico") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTPLASTICO

forall(r = "vidro") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTVIDRO

forall(r = "residuo_nao_reciclavel") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7)
= QUANTNAORECICLAVEL

forall(r = "contaminado_quimico") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4)fluxo4(r,d4) + sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7)
= QUANTQUIMICO

forall(r = "residuo_hospitalar") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) = QUANTHOSPITALAR

forall(r = "pilha_bateria") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) = QUANTPILHA

forall(r = "lampada") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) = QUANTLAMPADA

forall(r = "aerosol") sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) = QUANTAEROSOL

forall(r = "oleo_cozinha") sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) + sum(d3 in DESTINO3) fluxo3(r,d3) + sum(d4 in DESTINO4) fluxo4(r,d4)
+ sum(d7 in DESTINO7)fluxo7(r,d7) = QUANTOLEOCOZINHA

!=====!)

(!*****RECICLAGEM*****!)
! leva RESÍDUOS SÓLIDOS para RECICLAGEM por caminhões particulares do tipo CAÇAMBA

(forall(d in DESTINO2| d="Empresa E" or d="Empresa F" or d="Empresa G" or d="Empresa L") sum(r in RESIDUO2 ,tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba"
,t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao2(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO2)fluxo2(r,d)

! leva RESÍDUOS SÓLIDOS para RECICLAGEM caminhão próprio-Empresa H do tipo CAÇAMBA

forall(d in DESTINO2|d="Empresa H")sum(r in RESIDUO2 ,tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT|
t="CAMINHAO_PROPRIO_Empresa H")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao2(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO2)fluxo2(r,d)

```

```

(!*****INCINERACAO*****!)
! Nesta restrição, os RESÍDUOS SÓLIDOS para INCINERAÇÃO que serão transportados por caminhões particulares do tipo CAÇAMBA

forall(d in DESTINO3) sum(r in RESIDUO3,tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3"
or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao3(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO3 | r="Bomb_Contaminada" or r="Residuo_contaminado"
or r="tambor_contaminado" or r="cimento" or r="contaminado_quimico" or r="residuo_hospitalar" or r="pilha_bateria" or r="lampada"
or r="aerosol" or r="madeira" or r="metal" or r="organico" or r="papel" or r="plastico" or r="vidro" or r="residuo_nao_reciclavél"
or r="oleo_cozinha")fluxo3(r,d)

forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO3 | r="oleo_usado" or r="Lama_perfuracao",d in DESTINO3)
sum(t in TRANSPORT | t="Transp_1" or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao3(t,tc,r,d) >= fluxo3(r,d)

(!*****ATERRO INDUSTRIAL*****!)
forall(d in DESTINO4) sum(r in RESIDUO4 | r="tambor_contaminado" or r="cimento" or r="contaminado_quimico" or r="pilha_bateria"
or r="lampada" or r="aerosol" or r="madeira" or r="metal" or r="plastico" or r="vidro" or r="oleo_cozinha" or r="Residuo_contaminado"
or r="Bomb_Contaminada" or r="organico" or r="residuo_nao_reciclavél", tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Transp_1"
or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao4(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO4)fluxo4(r,d)

forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO4 | r="oleo_usado" or r="Lama_perfuracao",d in DESTINO4)
sum(t in TRANSPORT | t="Transp_1" or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao4(t,tc,r,d) >= fluxo4(r,d)

(!*****RERREFINO*****!)
!leva o RESIDUO OLEOSO para RERREFINO, transportados por caminhões próprios da Empresa D do tipo TANQUE

forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO5, d in DESTINO5) sum(t in TRANSPORT| t="CAMINHÃO_PROPRIO_Empresa D")
CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao5(t,tc,r,d) >= fluxo5(r,d)

(!*****REUSO*****!)
forall(d in DESTINO6) sum(r in RESIDUO6,tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3"
or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao6(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO6)fluxo6(r,d)

```

```

(!*****COPROCESSAMENTO*****!)
!leva residuos sólidos para o COPROCESSAMENTO que serão transportados por caminhões particulares do tipo TANQUE

forall(d in DESTINO7) sum(r in RESIDUO7|r="Bomb_Contaminada" or r="Residuo_contaminado" or r="tambor_contaminado" or r="cimento"
or r="madeira" or r="contaminado_quimico" or r="aerosol" or r="residuo_hospitalar" or r="pilha_bateria" or r="lampada" or r="organico"
or r="papel" or r="plastico" or r="vidro" or r="residuo_nao_recicavel" or r="oleo_cozinha" ,tc in TIPOCAMINHAO|
tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao7(t,tc,r,d) >=
sum(r in RESIDUO7 |r="Bomb_Contaminada" or r="Residuo_contaminado" or r="tambor_contaminado" or r="cimento" or r="madeira"
or r="contaminado_quimico" or r="aerosol" or r="residuo_hospitalar" or r="pilha_bateria" or r="lampada" or r="organico" or r="papel"
|pr r="plastico" or r="vidro" or r="residuo_nao_recicavel" or r="oleo_cozinha")fluxo7(r,d)

forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO7 | r="Lama_perfuracao" or r="oleo_usado",d in DESTINO7)
sum(t in TRANSPORT | t="Transp_1" or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao7(t,tc,r,d) >= fluxo7(r,d)

/=====
!Integralidade
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO2, d in DESTINO2) qdcaminhao2(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO3, d in DESTINO3) qdcaminhao3(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO4, d in DESTINO4) qdcaminhao4(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO5, d in DESTINO5) qdcaminhao5(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO6, d in DESTINO6) qdcaminhao6(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO7, d in DESTINO7) qdcaminhao7(t,tc,r,d) is_integer

/=====
! Uncomment the following line to see the Optimizer log
setparam("XPRS_VERBOSE",true)

! setparam("XPRS_MIPLOG",-n)

```

```

(=====)
!Algoritmos para realizar testes de velocidade na resolução do problema

case ALG of
  1:  do
      setparam("XPRS_CUTSTRATEGY", 0)  ! Desabilita cortes automático
      setparam("XPRS_HEURSTRATEGY", 0) ! Desabilita heurísticas para MIP
      setparam("XPRS_PRESOLVE", 1)     ! Alternador do PRESOLVE em "off"
      !!!setparam("XPRS_EXTRAROWS", 10) ! Reserva extra de linhas na matriz
      !!!feastol:= getparam("XPRS_FEASTOL") ! Trabalhar com tolerância Zero
      !!!setparam("zerotol", feastol*10) ! Definir Tolerância de comparação do Mosel
      !setcallback(XPRS_CB_CM, "cb_node") ! Define o tipo de "cut generation callback"
    end-do

  2:  do
      setparam("XPRS_CUTSTRATEGY", 1)          ! Sem cortes
      setparam("XPRS_HEURSTRATEGY", 1)        ! Desabilita heurísticas para MIP
      setparam("XPRS_PRESOLVE", -1)           ! Alternador do PRESOLVE em "off"
      setparam("XPRS_EXTRAROWS", 10)          ! Reserva extra de linhas na matriz
      feastol:= getparam("XPRS_FEASTOL")      ! Trabalhar com tolerância Zero
      setparam("zerotol", feastol*10)         ! Definir Tolerância de comparação do Mosel
      !setcallback(XPRS_CB_CM, "cb_node")     ! Define o tipo de "cut generation callback"

    end-do

  3:  do
      setparam("XPRS_EXTRAROWS", 100)         ! Limita o n° de cortes
    end-do
end-case

```

```

(!=====!)

! Minimização dos Custos
minimize(TotCost)

! Impressão da Solução
writeln(" # Custo Total: ",strfmt(getobjval,4,2))

writeln("\n-----Destinação-Reciclagem-----")
forall(r in RESIDUO2, d in DESTINO2)
  if(getsol(fluxo2(r,d))>0) then
    writeln(RESIDUO2(r), "->",":", DESTINO2(d),": ", getsol(fluxo2(r,d))," KG :: R$ ",getsol(CO2PROCESSAMENTORECICLAGEM(r,d)
    *CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTARECICLAGEM(d))/100)*CUSTODESTINORECICLAGEM(r,d)*fluxo2(r,d))
  end-if

  writeln("\n-----Transporte-Reciclagem-(Cacamba)-----")
writeln("Emp.Transp.->tipo-veic.->Emp.Dest.:qdt.caminh.:custo_parcial")
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHÃO, r in RESIDUO2, d in DESTINO2)
  if(getsol(qdcaminhao2(t,tc,r,d))>0) then
    writeln(TRANSPORT(t), "->",TIPOCAMINHÃO(tc),": Destino->",DESTINO2(d),":",getsol(qdcaminhao2(t,tc,r,d)),":: R$ ",
    getsol(CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA2(r,d)*qdcaminhao2(t,tc,r,d))
  end-if

writeln("\n-----Destinação-Incineracao-----")
forall(r in RESIDUO3, d in DESTINO3)
  if(getsol(fluxo3(r,d))>0) then
    writeln(RESIDUO3(r), "->", DESTINO3(d),": ", getsol(fluxo3(r,d))," KG :: R$ ",getsol(CO2PROCESSAMENTOINCINERACAO(r,d)
    *CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTAINCINERACAO(d))/100)*CUSTODESTINOINCINERACAO(r,d)*fluxo3(r,d))
  end-if

```

```

writeln("\n-----Transporte-Incineracao-(Cacamba)-----")
writeln("Emp.Transp.->tipo-veic.->Emp.Dest.:qdt.caminh.:custo_parcial")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO3, d in DESTINO3)
if(getsol(qdcaminhao3(t,tc,r,d))>0) then
  writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino->", DESTINO3(d), ":", getsol(qdcaminhao3(t,tc,r,d)), ":", " R$ ",
  getsol(CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTORM*DISTANCIA3(r,d)*qdcaminhao3(t,tc,r,d)))
end-if

writeln("\n-----Destinação-Aterro-----")
forall(r in RESIDUO4, d in DESTINO4)
if(getsol(fluxo4(r,d))>0) then
  writeln(RESIDUO4(r), "->", DESTINO4(d), ": ", getsol(fluxo4(r,d)), " KG :: R$ ", getsol(CO2PROCESSAMENTOATERRO(r,d)
  *CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTAATERRO(d))/100)*CUSTODESTINOATERRO(r,d)*fluxo4(r,d)))

end-if

writeln("\n-----Transporte-Aterro-(Cacamba)-----")
writeln("Emp.Transp.->tipo-veic.->Emp.Dest.:qdt.caminh.:custo_parcial")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO4, d in DESTINO4)
if(getsol(qdcaminhao4(t,tc,r,d))>0) then
  writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino->", DESTINO4(d), ":", getsol(qdcaminhao4(t,tc,r,d)), ":", " R$ ",
  getsol(CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTORM*DISTANCIA4(r,d)*qdcaminhao4(t,tc,r,d)))
end-if

writeln("\n-----Destinação-Rerrefino-----")
forall(r in RESIDUO5, d in DESTINO5)
if(getsol(fluxo5(r,d))>0) then
  writeln(RESIDUO5(r), "->", DESTINO5(d), ": ", getsol(fluxo5(r,d)), " KG :: R$ ", getsol(CO2PROCESSAMENTORERREFINO(r,d)
  *CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTARERREFINO(d))/100)*CUSTODESTINORERREFINO(r,d)*fluxo5(r,d)))

end-if

```

```

writeln("\n-----Transporte-Rerrefino-(Tanque)-----")
writeln("Emp.Transp.->tipo-veic.->Emp.Dest.:qdt.caminh.:custo_parcial")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO5, d in DESTINO5)
if(getsol(qdcaminhao5(t,tc,r,d))>0) then
  writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino-> ", DESTINO5(d), ":", getsol(qdcaminhao5(t,tc,r,d)), ":", R$ ",
  getsol(CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIAS(r,d)*qdcaminhao5(t,tc,r,d)))
end-if

writeln("\n-----Destinação-REUSO-----")
forall(r in RESIDUO6, d in DESTINO6)
if(getsol(fluxo6(r,d))>0) then
  writeln(RESIDUO6(r), "->", DESTINO6(d), ": ", getsol(fluxo6(r,d)), " KG :: R$ ", getsol(CO2PROCESSAMENTOREUSO(r,d)
  *CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTAREUSO(d))/100)*CUSTODESTINOREUSO(r,d)*fluxo6(r,d)))
end-if

writeln("\n-----Transporte-REUSO-(Tanque)-----")
writeln("Emp.Transp.->tipo-veic.->Emp.Dest.:qdt.caminh.:custo_parcial")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO6, d in DESTINO6)
if(getsol(qdcaminhao6(t,tc,r,d))>0) then
  writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino-> ", DESTINO6(d), ":", getsol(qdcaminhao6(t,tc,r,d)), ":", R$ ",
  getsol(CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIAS6(r,d)*qdcaminhao6(t,tc,r,d)))
end-if

writeln("\n-----Destinação-Coprocessamento-----")
forall(r in RESIDUO7, d in DESTINO7)
if(getsol(fluxo7(r,d))>0) then
  writeln(RESIDUO7(r), "->", DESTINO7(d), ": ", getsol(fluxo7(r,d)), " KG :: R$ ", getsol(CO2PROCESSAMENTOCOPROCESSAMENTO(r,d)
  *CUSTONEUTC02*(1+(100-NOTACOPROCESSAMENTO(d))/100)*CUSTODESTINOCOPROCESSAMENTO(r,d)*fluxo7(r,d)))
end-if

```

```

writeln("\n-----Transporte-Coprocessamento-----")
writeln("Emp.Transp.->tipo-veic.->Emp.Dest.:qdt.caminh.:custo_parcial")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO7, d in DESTINO7)
if(getsol(qdcaminhao7(t,tc,r,d))>0) then
  writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino-> ", DESTINO7(d), ":", getsol(qdcaminhao7(t,tc,r,d)), ":", R$ ",
  | getsol(CUSTOTRANS(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA7(r,d)*qdcaminhao7(t,tc,r,d))
end-if

writeln("")

writeln("# CUSTOTRANSREC: ",strfmt(getsol(CUSTOTRANSREC),4,2))
writeln("# CUSTOTRANSINC: ",strfmt(getsol(CUSTOTRANSINC),4,2))
writeln("# CUSTOTRANSATERRO: ",strfmt(getsol(CUSTOTRANSATERRO),4,2))
writeln("# CUSTOTRANSREF: ",strfmt(getsol(CUSTOTRANSREF),4,2))
writeln("# CUSTOTRANSREUSO: ",strfmt(getsol(CUSTOTRANSREUSO),4,2))
writeln("# CUSTOTRANSCOPR: ",strfmt(getsol(CUSTOTRANSCOPR),4,2))

writeln("+ # # # # # # # # # # # # # # # #")
writeln("# CUSTODESTINOREC: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINOREC),4,2))
writeln("# CUSTODESTINORECNEG: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINORECNEG),4,2))
writeln("# CUSTODESTINOINC: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINOINC),4,2))
writeln("# CUSTODESTINOATER: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINOATER),4,2))
writeln("# CUSTODESTINOREF: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINOREF),4,2))
writeln("# CUSTODESTINOREUSO: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINOREU),4,2))
writeln("# CUSTODESTINOCOPR: ",strfmt(getsol(CUSTODESTINOCOPR),4,2))

writeln("\n# Banco de dados: ",banco_de_dados)
end-model

```