

III-001 - PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA O MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS

Rafaela Luciana Poloni⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Caxias do Sul (UCS).

Geraldo Antônio Reichert

Engenheiro Civil pela UFRGS. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH da UFRGS. Engenheiro do DMLU de Porto Alegre. Professor do Curso de Engenharia Ambiental da UCS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Ernesto Alves, 2790|501 - São Pelegrino - Caxias do Sul|RS - CEP: 95020-360 - Brasil - Tel: (54) 91411010 - e-mail: rafaelapoloni@gmail.com

RESUMO

Este artigo é parte integrante de um estudo anteriormente realizado para o município de Caxias do Sul. Neste estudo, priorizou-se a otimização do transporte de rejeitos resultantes do reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) realizados por um Complexo de Digestão Anaeróbia (Complexo de DA). Deste modo, cita-se a implantação de uma Estação de Transferência ou Transbordo (ET) de Resíduos Sólidos Urbanos. A implantação da estação de transferência de Caxias do Sul será considerada na mesma área que se encontra o complexo de DA, favorecendo assim, a coleta dos rejeitos, e como local de destinação final o novo aterro do município localizado na comunidade Rincão das Flores, distrito de Vila Seca (Km 146 da RS-453, a Rota do Sol), próximo ao presídio do Apanhador, a 37 km do centro da cidade. A intenção é que os rejeitos com características de baixa densidade decorrentes do complexo de DA sejam coletados e despejados na respectiva estação de transferência, para que deste modo seja feito o transbordo dos mesmos, e após, o devido encaminhamento ao aterro do município, distante de 45 km da estação. O investimento total previsto nesta ET é de R\$ 3,7 milhões (base junho de 2010). Além do investimento para a implantação deste empreendimento, são considerados ainda os custos de operação e manutenção da ET, sendo estes constituídos pelo pagamento dos funcionários, custos administrativos, custos com combustível e ainda os custos para a manutenção das obras civis, dos equipamentos e dos veículos. Para o cálculo da viabilidade econômica foram estimadas as receitas do transporte até o aterro sanitário. Várias alternativas e cenários foram avaliados, sendo todas consideradas economicamente viáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Viabilidade, Estação de Transferência ou Transbordo, Resíduos Sólidos Urbanos, Caxias do Sul.

INTRODUÇÃO

Cidades de médio e grande porte como Caxias do Sul que sofrem forte expansão urbana, aumentam também as exigências ambientais e a resistência da população em aceitar a implantação, próximo as suas residências, de qualquer empreendimento ligado à disposição final de resíduos. Além do mais, aterros demandam áreas de grandes extensões, e assim os aterros sanitários estão sendo implantados cada vez mais distantes dos centros de massa de geração de resíduos.

O aumento na distância entre o ponto de coleta dos resíduos e o aterro sanitário causa, entre outros, os seguintes problemas:

- Atraso nos roteiros de coleta, prolongando a exposição dos resíduos nas ruas;
- Aumento do tempo improdutivo da guarnição de trabalhadores parados à espera do retorno do veículo que foi vazar sua carga no aterro;
- Aumento do custo de coleta;
- Redução da produtividade dos caminhões de coleta, que são veículos especiais e caros.

Dentro ainda desta preocupação de melhor aproveitar os resíduos urbanos e reduzir sobremaneira o material depositado nos aterros sanitários, existem procedimentos capazes de aproveitar de maneira mais abrangente os resíduos sólidos urbanos (RSU) no município de Caxias do Sul.

Segundo Trentin (2009), a falta de um destino final adequado aos resíduos sólidos leva a necessidade de se desenvolver novas técnicas de tratamento, entre elas, a biodigestão anaeróbia, processo este que consiste na degradação biológica dos resíduos orgânicos, na presença de uma população bacteriana, em ambiente anaeróbio, produzindo biogás e uma massa de resíduos parcialmente estabilizados, a qual segue para compostagem.

Porém, qualquer sistema de gerenciamento de RSU requer a necessidade de disposição final, ou seja, de um aterro sanitário, uma vez que o processo de digestão anaeróbia (DA) otimiza o reaproveitamento da fração reciclável e da fração orgânica, mas mesmo assim, deixa uma parcela de resíduos não aproveitáveis, o rejeito. Este rejeito deve obrigatoriamente ser encaminhado a um aterro sanitário. Entretanto, segundo Trentin (2009) esta parcela é bem menor do que com a não implantação deste tratamento, visto que diminui em aproximadamente 30 % o volume de resíduos enviado aos aterros.

A massa de resíduos sólidos (rejeito) resultante do processo de DA apresenta baixo grau de densidade, pois após o tratamento, a mesma não possui mais em sua composição os resíduos orgânicos. Este fator de baixa densidade, juntamente com o fato dos aterros sanitários se encontrarem mais distantes dos pontos de coleta (superior a 25 km), aumenta a necessidade de criar-se um projeto de engenharia capaz de solucionar e otimizar o transporte destes resíduos até o aterro.

Ressalta-se que resíduos de baixa densidade fazem com que os caminhões de coleta realizem mais viagens para transportar a mesma massa de resíduos. Um exemplo de rejeito de baixa densidade são as resinas termoplásticas como os polietilenos (PEBD) e os polipropilenos (PP), que representam 80 % dos plásticos consumidos atualmente.

Visto ainda que, para grande parte destes resíduos de baixa densidade que compõem o rejeito, não há mercado disponível de venda, como por exemplo, para as “sacolinhas” de mercado, fraldas, absorventes entre outros.

METODOLOGIA

Para alvitar a implantação desta ET foi imperativo o conhecimento da composição dos resíduos advindos do Complexo de DA, visto que este dado é fundamental para a definição das alternativas de transporte.

O rejeito advindo do Complexo de DA descrito por Trentin (2009), são resíduos não aproveitáveis de reciclagem e compostagem, mais especificamente, pedras, areia, madeira, ossos, plásticos e papéis de baixa densidade, fraldas e absorventes etc.

O grande problema desta massa de resíduos sólidos (rejeito) resultante do processo de DA, é apresentar baixo grau de densidade, pois após o tratamento, a mesma não possui mais em sua composição os resíduos orgânicos.

Na Tabela 1, é possível visualizar a quantidade de rejeito que deverá ser enviado ao aterro sanitário decorrente do complexo de DA. Havendo geração de rejeitos principalmente nas seguintes etapas do processo: triagem manual, após peneira rotativa, após separador balístico e também após o refinamento do composto. E na Tabela 2 é apresentado às características dos resíduos:

Tabela 1 - Quantidade de rejeito gerado nas etapas de DA

Etapas	Quantidade
Triagem manual	3 t/d
Peneira rotativa	144 t/d
Separador balístico	25 t/d
Refinamento composto	10 t/d
TOTAL	182 t/d

Fonte - Adaptado de Trentin (2009)

Tabela 2 - Geração e características dos RSU

Característica	Rejeito (313 dias anuais)
Quantidade	182 t/d
Densidade	0,20 t/m ³
Umidade	30 %
Tipo	Pedras, areia, ossos, plásticos e papéis não recicláveis, fraldas e absorventes, entre outros.

Fonte - Adaptado de Trentin (2009)

Realizou-se também o dimensionamento de diversas alternativas de transferência de RSU, deste modo, verificando-se qual destas alternativas foi a mais viável para futura implantação no município de Caxias do Sul. As respectivas alternativas analisadas foram: estação sem compactação, com compactação simples e compactação por pistão.

Ressalta-se ainda, que para cada alternativa de ET proposta, realizou-se a distinção por dois cenários de transporte: primeiramente utilizando-se veículos de grande porte (50 m³) e após utilizando-se veículos de pequeno porte (30 m³).

DIMENSIONAMENTO

Para a realização do projeto é fundamental a determinação do número de veículos de transferência, que se dá em função do tempo de carga e descarga dos veículos, tempo de ida e volta ao aterro, capacidade de carga dos veículos, quantidade total de resíduo a ser transferido por dia e horário de funcionamento da estação.

As dimensões dos equipamentos de compactação se definem basicamente em função da capacidade/hora requerida, ou seja, pela quantidade de resíduos que devem ser carregados nos veículos de transferência por unidade de tempo. Nestas determinações se observa também as características, dimensões e padrões dos equipamentos já existentes no mercado.

O compactador estacionário é içado pela dianteira, e deste modo é transportado pelos veículos *roll-on roll-off*. A caixa receptora de resíduos é provida de porta que uma vez fechada protege o compartimento de qualquer invasão indesejada, ficando o material armazenado e compactado em um ambiente totalmente isolado e protegido. A realização do ciclo de compactação é automática, mantendo o operador distante do equipamento, evitando assim acidentes por distrações.

Quando a compactação é efetuada por equipamentos instalados no próprio veículo de transferência, o resíduo é despejado por uma abertura na parte superior da carreta e a compactação se realiza por meio da placa de injeção (pistão), que nesta operação, compacta os resíduos contra a porta traseira que permanece fechada.

Pode-se dizer ainda, que o equipamento de transferência por compactação consta com unidade de acionamento hidráulico, um silo com placas de injeção, que por sua vez estão equipados com pistões telescópicos e uma unidade de acionamento de prensa compactadora.

Ressalta-se que toda operação de compactação é comandada por uma cabine de controle dotada de painéis e comandos elétricos e eletromecânicos, operadas por técnicos especializados.

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL

A avaliação da viabilidade econômica foi baseada no investimento inicial do projeto e nos custos decorrentes da operação e da manutenção da estrutura, dos equipamentos e dos veículos. O período de retorno do investimento foi baseado na quantificação dos benefícios gerados com o transporte indireto dos resíduos.

Assim, adotou-se um período de análise de 21 anos (2011 a 2031), considerando que a implantação da ET seja realizada em 2010 e a operação seja iniciada em 2011.

Estimativa de Investimentos e Custos

A implantação da ET demandará um investimento inicial aproximado de R\$ 3.000.000,00, conforme Tabela 3. Este custo engloba todos os pré-requisitos para o início do funcionamento deste sistema, desde a aquisição da área necessária para sua implantação, bem como os equipamentos necessários. Com o objetivo de não subestimar custos, adotou-se um acréscimo de 10 % nos custos de implantação como fator de segurança.

Além dos custos de implantação são considerados para esta análise os custos variáveis, ou seja, de operação e manutenção do empreendimento. Estes foram estimados por ano, e na Tabela 4 estão apresentados os dispêndios referentes ao ano de dimensionamento. Para estimativa dos custos de mão-de-obra, foi empregado um quadro de funcionários compatível com o nível desejado.

Assim, para o ano de 2021 deverão estar contratados 10 funcionários de nível operacional (motoristas e operadores de pá-carregadeira, mecânicos, auxiliares gerais e auxiliares de limpeza e segurança), 7 funcionários de nível médio/técnico (técnico/administrativo) e 1 funcionário de nível superior (administração geral). Os custos administrativos, envolvendo despesas mensais com telefone, internet, material de escritório, entre outros, foram estimados como sendo iguais a 10 % dos custos totais de mão-de-obra.

Tabela 3 - Custos para a implantação da ET.

SERVIÇOS	CUSTOS
Aquisição de área para implantação (7.250 m²)	R\$ 580.000,00
Serviços preliminares (limpeza da área e terraplenagem)	R\$ 6.670,00
Licenciamento (Estadual e Ambiental)	R\$ 188.583,80
Unidade de Recepção	R\$ 655.565,00
Aquisição de equipamentos de transferência	R\$ 55.000,00
Aquisição de veículos	R\$ 960.000,00
Cabine de controle	R\$ 71.600,00
Gerador de energia emergencial	R\$ 153.250,00
Oficina de manutenção	R\$ 15.600,00
Instalações de apoio	R\$ 284.849,00
Fator de segurança (10 %)	R\$ 297.111,78
TOTAL	R\$ 3.268.229,58

Tabela 4 - Custos para a operação e manutenção da ET.

SERVIÇOS	CUSTOS
Recursos humanos (18 funcionários)	R\$ 487.800,00
Custos Administrativos (telefone, água, mat. escritório)	R\$ 48.780,00
Manutenção da superestrutura (0,5 % a.a. das obras civis)	R\$ 4.442,61
Manutenção dos equipamentos (bombas, prensas, etc.) (4 % a.a.)	R\$ 8.576,00
Gastos com combustível	R\$ 120.042,00
Manutenção dos veículos (Valor do combustível)	R\$ 120.042,00
TOTAL	R\$ 789.682,61

Para estimativa das obras civis ou do prédio da estação com compactação por pistão, estimou-se como sendo de 0,5 % ao ano o valor dos custos de manutenção, isto em relação ao investimento total neste item. Para a manutenção de máquinas e equipamentos, como prensas, motores e geradores, estimou-se em 4 % ao ano do custo de investimento. E o custo estimado necessário para a manutenção dos veículos foi calculado como sendo o dobro do seu custo em combustível.

Estimativa de Benefícios e Receitas

As receitas advindas desta ET referem-se ao transporte indireto dos resíduos, fixados em 10 %, ou seja, a receita será do transbordo do Complexo de DA até o aterro sanitário do município localizado a 45 km do mesmo.

A tabela 5 apresenta a receita anual obtida pela ET com compactação por pistão do segundo cenário, pois a mesma apresentou-se mais de acordo com os atuais valores de mercado.

Tabela 5 - Receita do transporte indireto da ET por pistão - cenário 2

Ano	Transporte indireto
2011	R\$ 30,89
2012	R\$ 31,60
2013	R\$ 32,36
2014	R\$ 33,16
2015	R\$ 34,00
2016	R\$ 34,90
2017	R\$ 35,83
2018	R\$ 36,82
2019	R\$ 37,85
2020	R\$ 38,93
2021	R\$ 40,14
2022	R\$ 41,25
2023	R\$ 42,50
2024	R\$ 43,80
2025	R\$ 45,16
2026	R\$ 46,59
2027	R\$ 48,08
2028	R\$ 49,64
2029	R\$ 51,27
2030	R\$ 52,98
2031	R\$ 54,75

Análise da viabilidade econômica

A avaliação da viabilidade econômica foi baseada no investimento inicial do projeto e nos custos decorrentes da operação e da manutenção da estrutura, dos equipamentos e dos veículos.

O método utilizado foi o do Valor Presente Líquido (VPL) a partir de um fluxo de caixa que abrange a demanda financeira e os benefícios da redução de gastos num período de 21 anos, cuja expressão matemática é dada pela equação (1) a seguir.

$$VPL = \frac{\text{Benefícios} \times FVP}{1} - \frac{\text{Demanda financeira} \times FVP}{1} \quad \text{Eq. 1}$$

$$FVP = \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n}$$

Onde:

FVP – fator de valor presente;

i – taxa de juros unitária;

n – período de capitalização dos juros.

Para ajuste ao valor presente foi considerada a indexação dos valores atuais dos benefícios e da demanda financeira pelo INPC, estimado em 5,3 % ao ano, enquanto que a taxa de juros adotada será a SELIC, correspondente a 8,75 % ao ano.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas informações apresentadas, fez-se uma análise da viabilidade econômica deste empreendimento, modelando os diferentes cenários com base nas possíveis variações econômicas, funcionais e mercadológicas.

Nestes cenários, com o intuito de obter-se um projeto financeiramente viável, analisou-se a possibilidade de cobrança pelo transporte indireto dos resíduos. Desta forma, é possível neste item avaliar o retorno de cada um dos panoramas e delimitar sua viabilidade frente a variações.

A seguir tem-se o gráfico do fluxo financeiro considerado mais viável (Cenário 6) e suas plantas ilustrativas (Figura 2, 3 e 4).

Cenário 6

Modelou-se o cenário 2 da ET com compactação por pistão. Considerando-se este cenário, a implantação da ET conota-se como viável economicamente, com um VPL positivo de R\$ 1.793.612,03 e tempo de retorno financeiro de 15 anos (2026). Assim, evidencia-se um investimento rentável financeiramente (Figura 1).

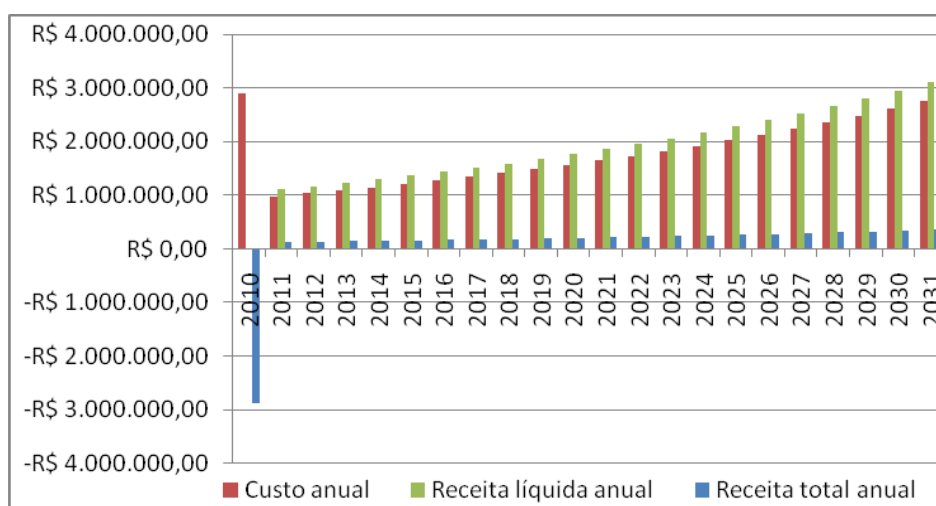


Figura 1 - Fluxo de caixa do Cenário 2 – ET compactação por pistão.

Para apoio à tomada de decisão do cenário mais viável para futura implantação do projeto, utilizou-se o método de matrizes, considerando os aspectos ambientais, financeiros e sociais envolvidos.

Ponderaram-se deste modo, pesos tanto para os aspectos envolvidos quanto para os critérios avaliados. Ressalta-se que após ponderação realizou-se a multiplicação dos respectivos pesos e soma total dos valores obtidos.

Como aspecto ambiental considerou-se pontuação para os cenários com redução de tráfego global, emissões aéreas e conseqüentemente, menos desgaste das estradas. No âmbito social, fez-se referência a quantidade de geração de empregos no processo, e financeiramente avaliaram-se os valores totais das receitas obtidas por tonelada transportada.

Pelos resultados das matrizes apresentados, a estação com compactação por pistão do segundo cenário foi a que obteve maior pontuação, referindo-se mais precisamente, a ET mais viável economicamente, ambientalmente e socialmente entre os seis cenários propostos (Tabela 6).

Tabela 6 - Matriz da ET compactação por pistão – CENÁRIO 2

Aspectos envolvidos	Critério avaliado	Peso do aspecto	Peso do critério	Resultado
Aspectos Ambientais	Viagens/dia	2	9	18
Aspectos Financeiros	Receita bruta/t	3	9	27
Aspectos Sociais	Geração de empregos	1	4	4
TOTAL				49

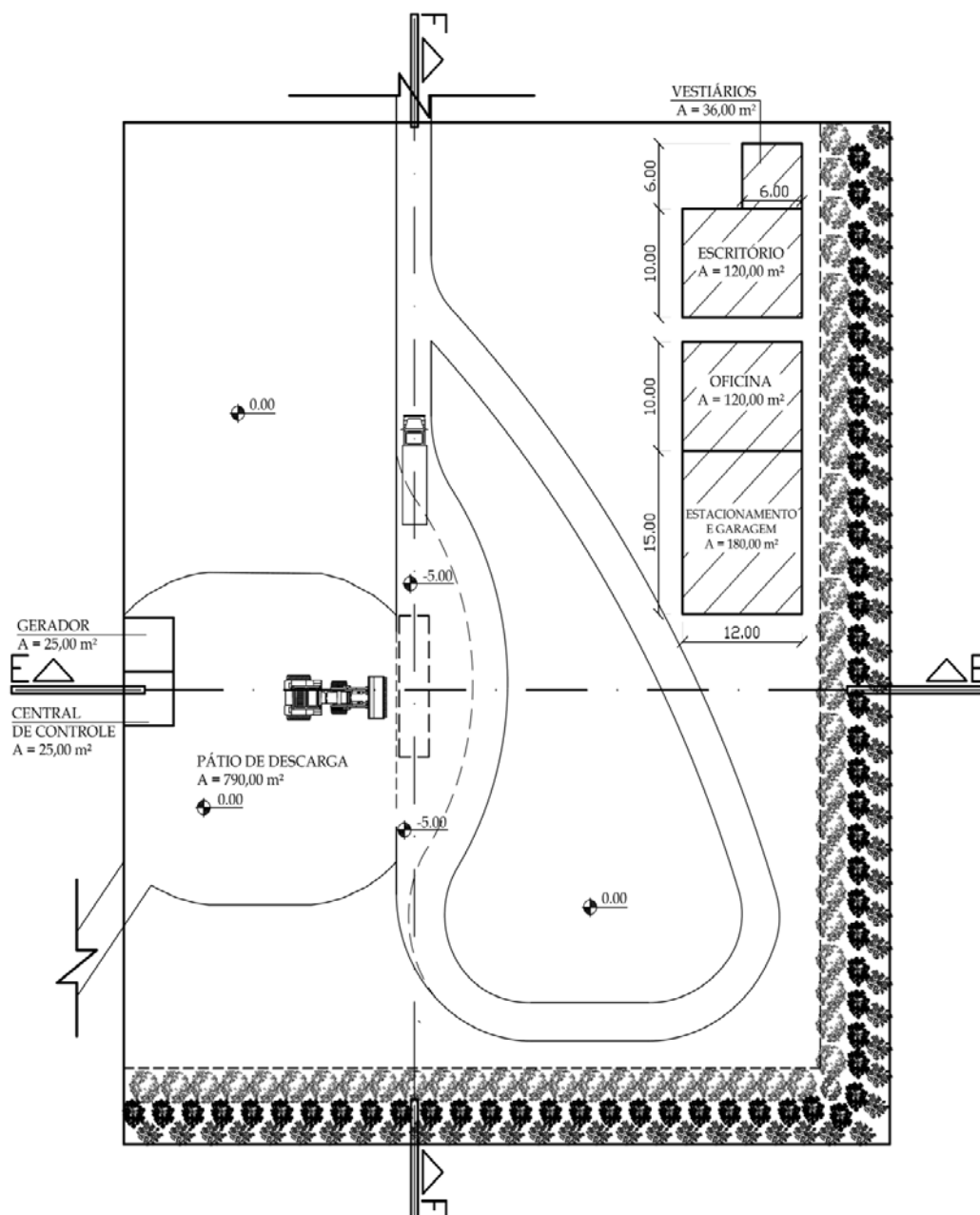


Figura 2 - Planta da ET compactação por pistão do cenário 2.

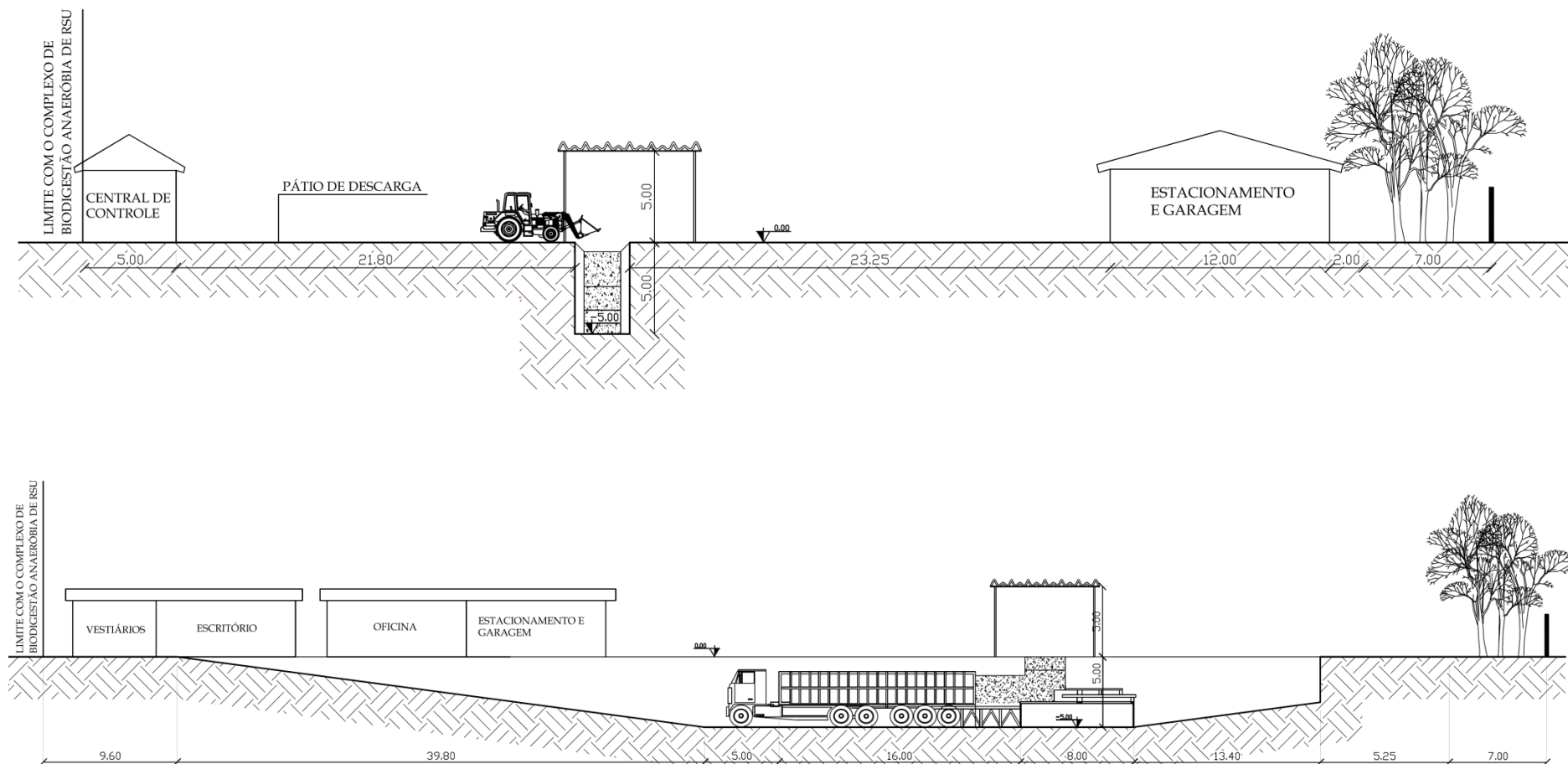


Figura 3 - Vista lateral da ET compactação por pistão do cenário 2.

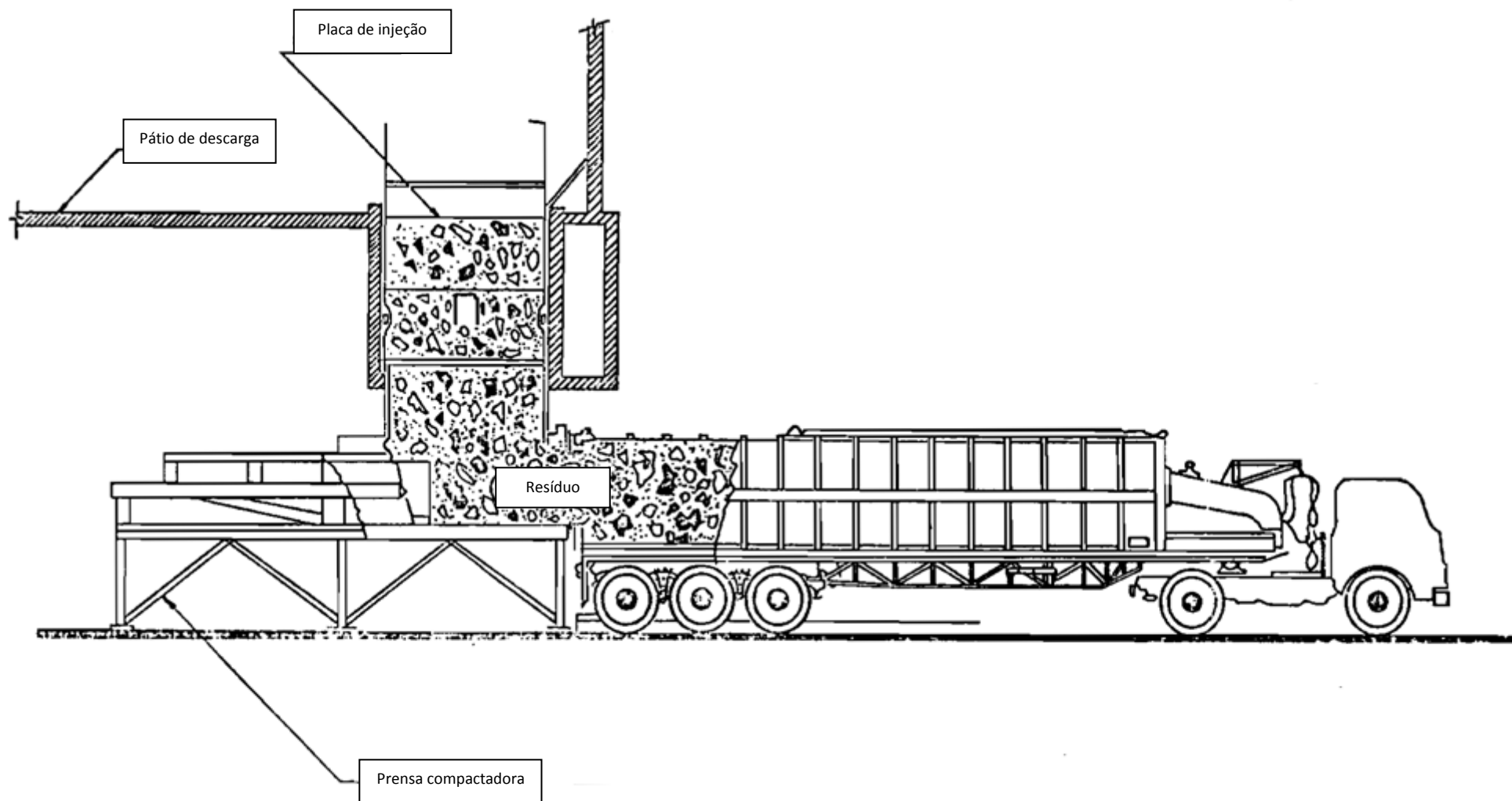


Figura 4 – Vista de um semi-reboque de 50m³ sendo compactado por um pistão.

CONCLUSÕES

Apesar do alto custo de implantação e manutenção, a análise financeira mostrou que a implantação da ET de RSU resultantes de um Complexo de DA é economicamente viável no município, com benefícios variando conforme a alternativa definida.

De acordo com os seis cenários analisados, a melhor alternativa econômica é a ET de compactação por pistão do cenário que utiliza semi-reboques de menor capacidade de carga (30m³). Abaixo tem-se respectivamente os custos em R\$ de cada cenário proposto (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise da viabilidade econômica

Cenários	Tipo de Estação	Custo (R\$/t)	Tempo de retorno
Cenário 1 Semi-reboques de maior porte	ET sem compactação	R\$ 37,94	14 anos
	ET compactação simples	R\$ 43,78	13 anos
	ET compactação por pistão	R\$ 53,92	10 anos
Cenário 2 Semi-reboques de menor porte	ET sem compactação	R\$ 57,96	08 anos
	ET compactação simples	R\$ 38,34	12 anos
	ET compactação por pistão	R\$ 30,89	15 anos

No que tange a variável ambiental, destacam-se ainda os benefícios de difícil mensuração oriundos da implantação deste sistema de transporte. Pois, com sua implantação, há aumento da eficiência global do serviço de coleta através da economia no sistema de transportes e na diminuição do tempo ocioso dos trabalhadores empregados. Como resultado é alcançado um declínio generalizado dos custos de coleta e melhor utilização dos recursos humanos e equipamentos disponíveis. Isto também produz menos tráfego global e emissões aéreas além de diminuir o desgaste das estradas.

Como ganho social, faz-se referência a geração de empregos no processo, uma vez que agregará os interesses econômicos do projeto com a geração de renda direcionada basicamente a indivíduos provenientes das classes econômicas mais baixas. A oferta de emprego e renda para a população desprivilegiada permite que estas pessoas sejam vistas como agentes sociais que contribuem com a limpeza da cidade e a conservação do meio ambiente.

Informações mais detalhadas sobre o estudo apresentado neste trabalho podem ser obtidas em Poloni (2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CODECA. Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul. Disponível em <<http://www.codeca.com.br/>>. Acesso em 15 set. 2009.
- COSTA, H. S. **Estação de transferência de resíduos sólidos domiciliares: Histórico e proposta de procedimentos para o seu planejamento e controle operacional**. Instituto de Recursos Naturais, UNIFEI. 2005.
- LEITE, Luiz Edmundo Costa. *Manual de Instrucción*. OPS/EHP/CEPIS, Junio de 1982.
- MANSUR, Gilson Leite. **O que é preciso saber sobre limpeza urbana**. Rio de Janeiro: IBAM/CPU, 1991.
- MATOS, Tássio. F. L. **Composição dos Resíduos Poliméricos, Pós-Consumo, Gerados no Município de São Carlos, SP**. 2007.
- MONTEIRO, José Henrique Penido *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- PLASTIVIDA. **Densidade dos plásticos**. Disponível em: <www.plastivida.org.br/>. Acesso em 10 de set. 2009.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CAXIAS DO SUL. **Informações**. Disponível em <<http://www.caxias.rs.gov.br/>>. Acesso em 20 set. 2009.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CAXIAS DO SUL. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - PGRS**. Relatório 2, diagnóstico da situação atual – fase 2. Caxias do Sul, 2004.
- REICHERT, G. A. **Informações pessoais**. Universidade de Caxias do Sul, 2009.

11. POLONI, Rafaela Luciana. **Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos resultantes de um Complexo de Biodigestão Anaeróbia para o município de Caxias do Sul.** Projeto de Engenharia Ambiental. UCS, 2010.
12. SANTA CECÍLIA RESÍDUOS. **Roll-on Roll-off – Caixa Compactadora.** Disponível em: <http://santaceciliaresiduos.com.br/rollon_compactadora.html>. Acesso em 19 de set. de 2009.
13. SIL. Soluções Ambientais Ltda. Disponível em: <<http://www.sil-residuos.com.br/>>. Acesso em 14 de Nov. de 2009.
14. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. <<http://www.pmss.gov.br/snis/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=66>>. Acesso em 10 ago. 2009.
15. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues.** EUA: McGraw Hill, 1993.
16. TRANSPORTEC. Veículos de Transferência. Disponível em: <http://www.transportec.com.br/equip_transporte_residuos.htm>. Acesso em 5 de ago. de 2009.
17. TRENTIN, Andréia Cristina. **Complexo de Biodigestão Anaeróbia de resíduos sólidos urbanos para o município de Caxias do Sul.** Projeto de Engenharia Ambiental. UCS, 2009.
18. **Waste Transfer Stations: A manual for decision-making.** EPA, June 2002.