

Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG

Transfer Station of Municipal Solid waste implantation using GIS Technology

RESUMO

As estações de transferência fazem parte dos atuais sistemas de gestão em resíduos sólidos urbanos, sendo que para analisar a viabilidade de implantação é realizada uma avaliação econômica de redução do custo com o transporte versus o gasto com a construção e manutenção da estação de transferência (ET). Para realizar essa análise foram definidas metodologias, principalmente, em situações onde é possível coletar grande quantidade de dados necessários para as suas aplicações. Dessa forma, o presente estudo apresenta uma metodologia prática a ser aplicada em países como o Brasil, que ainda possuem poucos dados coletados, para a identificação da viabilidade de implantação e do melhor local para a ET. Tomando como base o município de Florianópolis em Santa Catarina foi identificada a região do município mais apta a possuir a estação de transferência. A localização dos centros geradores de resíduos bem como a localização da própria estação de transferência foram determinados a partir dos centros de massa de produção de resíduos em cada região, através do uso de tecnologia SIG. Na sequência, foi realizada uma avaliação do custo para a implantação da ET e do custo com o transporte. Os resultados permitiram identificar a distância a partir da qual ter a ET diminui o custo do sistema, e notou-se que, com a utilização da ET proposta, pôde-se alcançar uma redução de 24% nos custos totais com transporte de resíduo sólido urbano no município de Florianópolis.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos; Coleta e Transporte; Estação de Transferência de Resíduos Sólidos; Implantação; Análise Econômica.

ABSTRACT

Transfer stations are part of the current management systems in municipal solid waste. Typically, to identify the viability of implementing the installation is performed an economic evaluation, it analyzes the cost reduction with the collection and transport compensates spending on construction and maintenance of the transfer station (TS) over the life of the project. To perform this analysis methodologies have been defined, particularly in situations, where it is possible collect the large amount of data required for their applications. In Brazil, the amount of transfer stations increased by around 80% over a period of five years (Costa, 2005 and SNIS, 2010), but these deployments occurred without it being done any studies to indicate their viabilities. The reason, perhaps, is the lack of data collected by municipal solid waste, which prevents the application of existing methodologies. In this way, the present study shows a practical methodology to be applied in countries such as Brazil, which still have little data collected to identify the viability of implementation and the best location for the TS. Based on the city of Florianopolis in Santa Catarina was identified in the municipality the region more apt to have the TS. The location of the centers waste generators and the location of the own station transfer were determined from the centers of mass of waste in each region by using GIS technology. After, an evaluation was made of the cost to implement the TS and the cost of transportation. The results showed the distance from which to have the TS reduces the cost of the system, and it was noted that with the use of the transfer station proposal, it was possible to achieve a 24% reduction in total costs to collection and transportation of municipal solid waste in Florianópolis.

KEY WORDS: Municipal Solid Waste, Collection and Transportation; Transfer Station of Solid Waste; Implementation; Economic Evaluation.

Claudia Diavan Pereira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, SC, Brasil.

Davide Franco

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, SC, Brasil.

Armando Borges de Castilhos Jr.

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, SC, Brasil
armando.borges@ufsc.br

INTRODUÇÃO

Estação de transferência é uma instalação localizada próxima ao centro gerador de resíduos sólidos, onde esses são transferidos de caminhões menores, provenientes da coleta, para caminhões de maior porte a fim de realizar o transporte até o local de eliminação final. Os estudos que avaliam a viabilidade da implantação de estações de transferência variam entre si em relação aos critérios analisados e aos métodos de análise utilizados. Um estudo amplamente reconhecido foi desenvolvido pela Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (US EPA) divulgado no ano de 2002. A agência apresentou o “ponto de virada”, representando a distância a partir da qual a utilização de estação de transferência no sistema é economicamente vantajosa ao transporte direto do resíduo até a destinação final.

Em 1995 Rahman e Kuby desenvolveram um modelo de múltiplos objetivos examinando as compensações entre a minimização dos custos em sistemas de manejo de resíduos com a implantação de estação de transferência e a oposição pública à instalação. A localização da estação de transferência é definida através de nós de origem (centróides geográficos de cada uma das zonas de coleta de resíduos), nós intermediários (possíveis áreas para a estação de transferência) e os nós finais (aterros sanitários, que são assumidas como locais fixos). Chang e Lin (1997) desenvolveram e aplicaram um modelo de gestão operacional de resíduo sólido através de uma abordagem hierárquica. Nesse modelo, um quadro de economia foi considerado para minimizar os custos. Assim, foi formulada uma função levando em consideração os benefícios quantificáveis do sistema bem como os custos em um período de tempo específico.

Komilis (2008) realizou uma modelagem conceitual para aperfeiçoar o trajeto e transferência de resíduos sólidos urbanos. Dois modelos lineares mistos foram desenvolvidos. Um modelo baseado na minimização do tempo, e outro na minimização do custo total. Ambos tiveram por objetivo calcular o caminho ideal para transportar resíduos sólidos a partir do já citado conceito de nós. Chatzouridis e Komilis (2012) desenvolveram uma metodologia para designar se uma estação de transferência deve ser construída, otimizar a concepção e escolher o local para instalação, através da utilização de SIG e programação binária. Também utilizaram o sistema de nós de origem, intermediários e finais.

Identificou-se que para a aplicação da metodologia de Rahman e Kuby (1995), Chang e Lin (1997), Komilis (2008) e Chatzouridis e Komilis (2012) precisa ter dados detalhados sobre custos e distâncias nas etapas de coleta, transporte, estação de transferência e, destinação final. Nas metodologias de Rahman e Kuby (1995), Komilis (2008) e Chatzouridis e Komilis (2012) deve também ser conhecido o número total de residências em cada região de coleta de resíduos sólidos.

No Brasil, ainda é difícil que as companhias de resíduos sólidos monitorem de forma ampla seus sistemas, principalmente quando se trata de dados detalhados de custos, prejudicando a aplicação das metodologias acima citadas. Para a aplicação da metodologia de US EPA (2002), no entanto, são necessários somente os seguintes dados de entrada: custo para construção, operação e manutenção da estação de transferência; capacidade de carga por caminhão: do transporte direto e do que realiza a transferência; custo com o transporte: direto e com a transferência; distância da geração até destinação final. Essa metodologia é ideal para ser aplicada em localidades que

possuam uma única região homogênea considerando a produção de resíduos sólidos. Nota-se que em várias situações, principalmente em cidades com variação espacial na evolução da produção de resíduos sólidos, essa produção é heterogênea. Nesses casos, é aconselhável primeiramente dividir o município em regiões limítrofes que sejam homogêneas entre si, considerando a produção e a taxa de crescimento anual de resíduos sólidos.

Para o presente estudo foi realizada essa adaptação com relação à metodologia de US EPA, sendo esta a sua principal contribuição. Com a divisão do município em regiões homogêneas, foi possível identificar o centro de massa de produção de resíduos de cada uma das regiões consideradas e só então calcular as distâncias percorridas da geração até o destino final – conferindo, dessa forma, uma maior precisão nos resultados obtidos. Com a adaptação proposta conseguiu-se, também, apontar o local ideal para a ET, o que não era possível na metodologia original, e ainda, verificar a viabilidade de implantação de uma segunda instalação no sistema estudado.

OBJETIVOS

- Agrupar os distritos municipais em regiões de coleta de resíduo e através da produção de resíduos sólidos urbanos em um determinado período de anos, determinar a projeção na geração de resíduos por região bem como a região mais apta a ter a estação de transferência;
- Localizar o centro de massa de produção de resíduos sólidos em cada região, verificar as distâncias percorridas no transporte e os custos por tonelada de resíduo transportado, do sistema atual e do sistema proposto;
- Avaliar a aplicação da metodologia adaptada de US

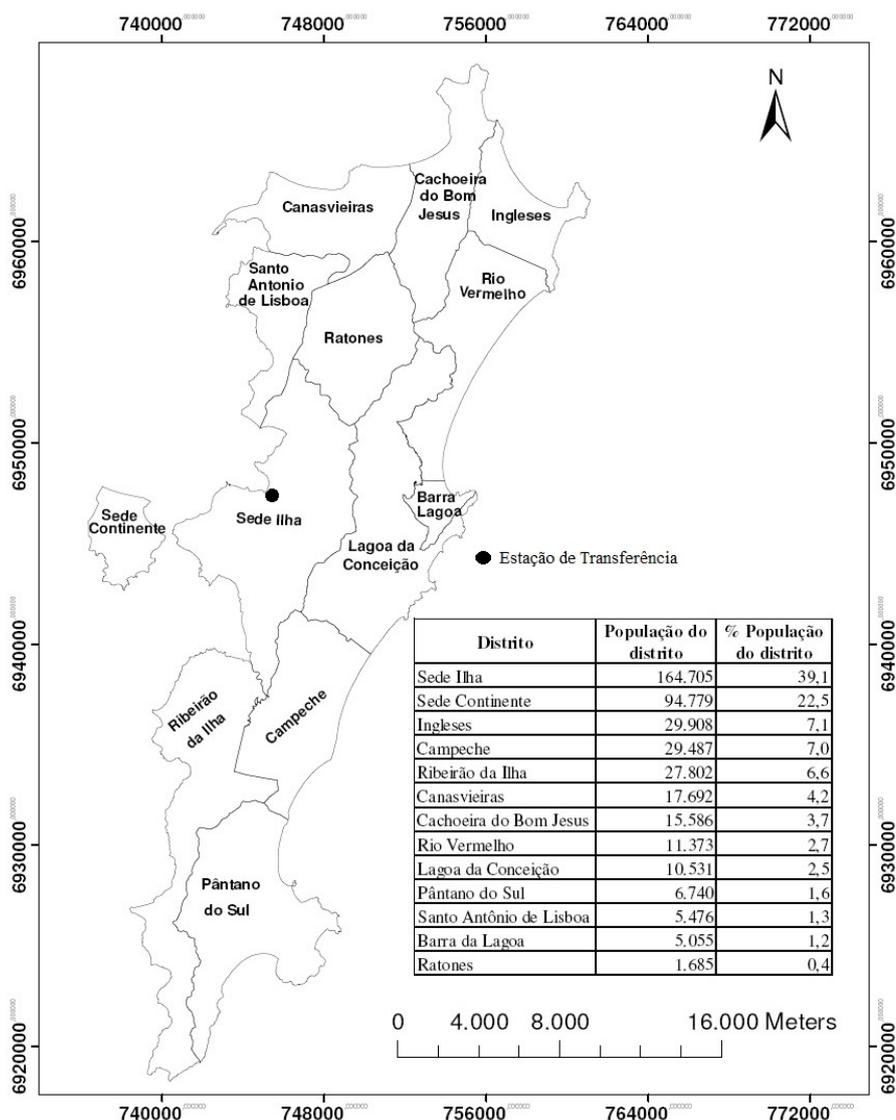


Figura 1-Distritos do Município de Florianópolis
 . Mapa modificado de IPUF (2010) e Tabela Censo IBGE (2010).

EPA (2002) através do estudo de cenários, comparando o sistema atual e o proposto em função da distância percorrida *versus* o custo/massa;

- Identificar os principais parâmetros que interferem na viabilidade da implantação de estação de transferência de resíduos sólidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

Florianópolis é a capital do Estado de Santa Catarina, localizada na Região Sul do Brasil. O município

ocupa uma área de 672 Km² (IBGE, 2010), e está entre as coordenadas UTM 6.968.969 m e 6.918.037 m de latitude sul e; 736.353 m e 761.306 m de longitude oeste. Seu território é constituído por uma parte insular (ocupando 97% de sua área) e por uma parte continental (3% da sua área), a população residente do município é de 421.240 habitantes (IBGE, 2010). A ilha de Florianópolis possui grande extensão latitudinal, e contem ao longo de seu território morros, lagoas, dunas, manguezais etc. Tais características atuam como barreiras naturais e colaboram para tornar o município polinucleado e, dessa forma, dividido em vários distritos.

A Figura 1 apresenta o nome e a localização dos 13 distritos que o município possui, através de mapa obtido junto ao Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF), bem como a relação entre a população do distrito e a população total residente, obtido através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Censo IBGE, 2010). Florianópolis é uma cidade turística e balneária e, portanto, nos meses de verão, recebe um grande número de turistas. Esse fluxo de turistas concentra-se principalmente nas praias ao norte do município, seguidas das praias do leste e sul. A coleta de resíduos sólidos urbanos

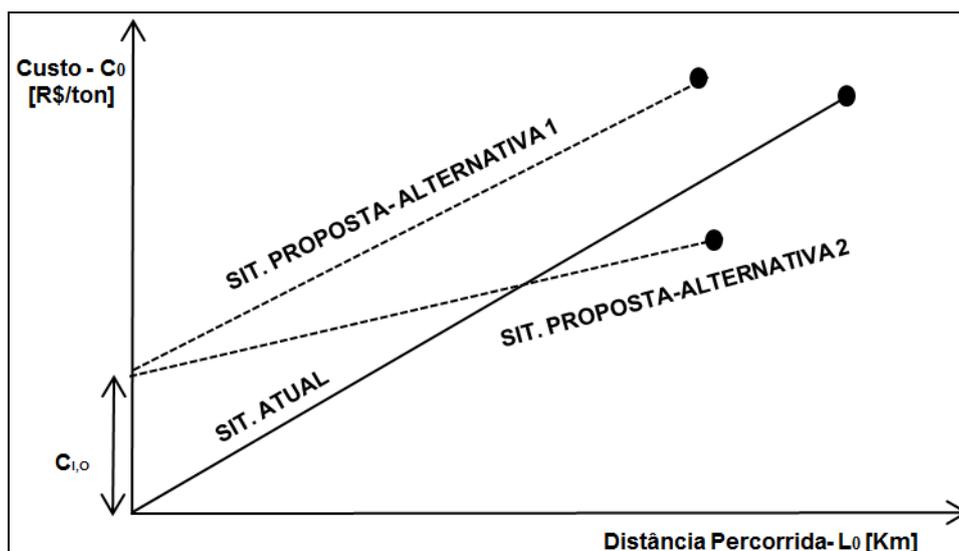


Figura 2- Modelo de comparação entre o sistema atual e o proposto.

no município é realizada pela Companhia de Melhoramentos da Capital (COMCAP), sendo dividida nas seguintes categorias:

- Coleta Convencional: recolhe os resíduos domiciliares, comerciais e públicos sem que haja uma prévia segregação durante a geração (corresponde a mais de 90% do total recolhido no município).
- Coleta seletiva: recolhe os resíduos secos domiciliares, comerciais e públicos, contando para isso, com a prévia segregação durante a geração (representa em torno de 5% do total coletado).
- Coleta com caixa brooks: Acontece em morros e em ruas de difícil acesso. Nesses casos, os moradores levam os resíduos produzidos até o local onde a caixa brooks está estacionada (representa em torno de 2,5% do total coletado).
- Coleta d’olho: recolhe os resíduos provenientes de algum evento ou feira, realizado pelo município (não representa nem 1% do total recolhido).

A COMCAP organiza seus roteiros da coleta convencional nos distritos onde ocorre a maior

concentração de turistas no verão em: roteiros de alta temporada (AT) e roteiros de baixa temporada (BT). O município já conta com uma ET, localizada no distrito Sede Ilha, no bairro Itacorubi (Figura 1) e foi inaugurada no ano 2000. A instalação tem capacidade de operacionalizar 450 toneladas por dia, sendo do tipo com compactação e direta (sem acumulação de resíduo). A destinação final dos resíduos se dá no aterro sanitário localizado no município de Biguaçu, distante cerca de 40 km de Florianópolis.

METODOLOGIA

Equações e hipóteses consideradas

De uma forma prática, necessitando de poucos dados de entrada, esse estudo propõe a identificação da viabilidade de implantação de ET, através da comparação entre a distância percorrida *versus* custo/massa (ton) transportada, da situação atual e da proposta, como mostra a Figura 2. Para serem determinadas as inclinações das retas apresentadas na Figura 2, primeiramente foram identificados pontos correspondentes a abcissa (distância

percorrida) e a ordenada (custo/ton) do gráfico. Cada situação mostrada na figura representa a distância percorrida (em um sentido) e o custo/ton para todo o município. Como Florianópolis já possui uma ET avaliou-se a viabilidade da implantação de uma nova instalação para atender uma única região de coleta do município. Na situação atual, os custos com a implantação da ET já foram amortizados e os custos com a sua operação estão inclusos no custo total da coleta de resíduo, portanto, o custo/ton inicial é zero.

Nesse sistema, a inclinação da reta deve ser maior do que nas situações propostas. Isso ocorre, pois com a utilização da instalação proposta, esse custo/ton acaba sendo menor do que no sistema atual, visto a transferência dos resíduos para caminhões com capacidade de carga grande (CCg). Também nesses casos, esse custo/ton inicial é diferente de zero, pois compreende o custo para implantação e operação da estação proposta, não dependendo da distância percorrida. Na alternativa 2, a implantação da estação de transferência é viável, pois a reta da “situação atual” e da “situação proposta- alternativa 2” se cruzam, ou seja, a distância a partir da qual

ter uma ET na região analisada existe. Na “situação proposta-alternativa 1”, tem-se que a implantação da instalação não é viável, pois as retas não se cruzam. A distância percorrida depende, entre outros fatores, da distância viária entre o ponto de produção de resíduos sólidos com a ET. O ponto de produção considerado foi o Centro de Massa (CM) de cada região. Para a análise do CM por região, foram necessários os dados do Centro Geográfico (CG) e da massa de resíduo produzido por distrito na alta e baixa temporada, conforme pode ser identificado nas equações abaixo:

$$CM_X = \frac{\sum x_i \times m_i}{\sum m_i} \text{ e } CM_Y = \frac{\sum y_i \times m_i}{\sum m_i} \quad (1)$$

Em que:

x_i : CG do distrito no plano x - (km);

y_i : CG do distrito no plano y- (km);

m_i = massa de resíduo produzido por dia em cada distrito na AT e BT (ton/dia).

As seguintes hipóteses simplificadoras foram utilizadas:

- A produção de resíduo sólido (RS) foi considerada uniforme

em cada distrito;

- O centro de massa de cada região permanece na mesma posição com o passar do tempo;
- A taxa de aumento anual da produção de RS varia entre as regiões, ou seja, o centro de massa do sistema muda com o passar do tempo;
- O centro de massa da situação atual e da proposta, para um mesmo ano, não mudam, variando somente o caminho percorrido nas duas situações.

A distância percorrida, que corresponde a abcissa do gráfico, é a soma de dois percursos:

- Percurso Interno: Trajeto realizado pelos caminhões pequenos, ou seja, os caminhões da coleta. Esse percurso é do centro de massa da região até a estação de transferência (Figura 3 e Figura 4- $d_{A,0}^A$ e $d_{B,0}^B$).
- Percurso Externo: Trajeto realizado pelos caminhões grandes, ou seja, os caminhões do transporte. Esse percurso é realizado da estação de transferência até o destino final (Figura 3 e Figura 4- $d_{0,F}^A$, $d_{0,F}^B$ e $d_{A,F}^A$).

Foi estabelecida como situação atual, a opção em que o sistema permanece sem mudanças, ou seja, somente com uma ET no município, tanto para início quanto para o fim do projeto. A situação proposta analisa a viabilidade da implantação de uma segunda ET no município (localizada na região do município mais apta a tê-la) tanto para o momento presente quanto para o futuro. Para a determinação da distância percorrida no percurso interno e externo, considerando a situação atual devem-se entender as variáveis discriminadas na Figura 3 e para o entendimento da situação proposta a Figura 4. Conforme as figuras indicam, os índices que aparecem em algumas variáveis representam:

- Índice superior: região de produção dos resíduos sólidos;
- Índices inferiores: ponto de partida (centro de massa da região ou estação de transferência) e o ponto de destinação (aterro sanitário) dos resíduos sólidos.

Assim, foi verificado que a distância percorrida pelos veículos depende do número de viagens realizadas para transportar a massa gerada de RS, do CM até a ET ou da ET até o Destino Final. Na sequência, foram formuladas equações para a

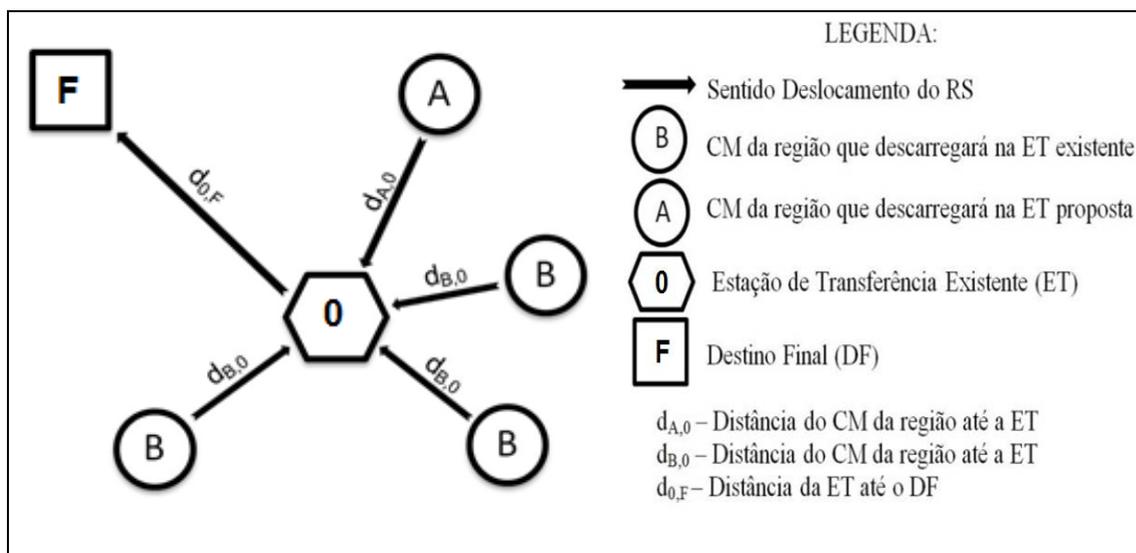


Figura 3-Esquema da distância percorrida na situação atual.

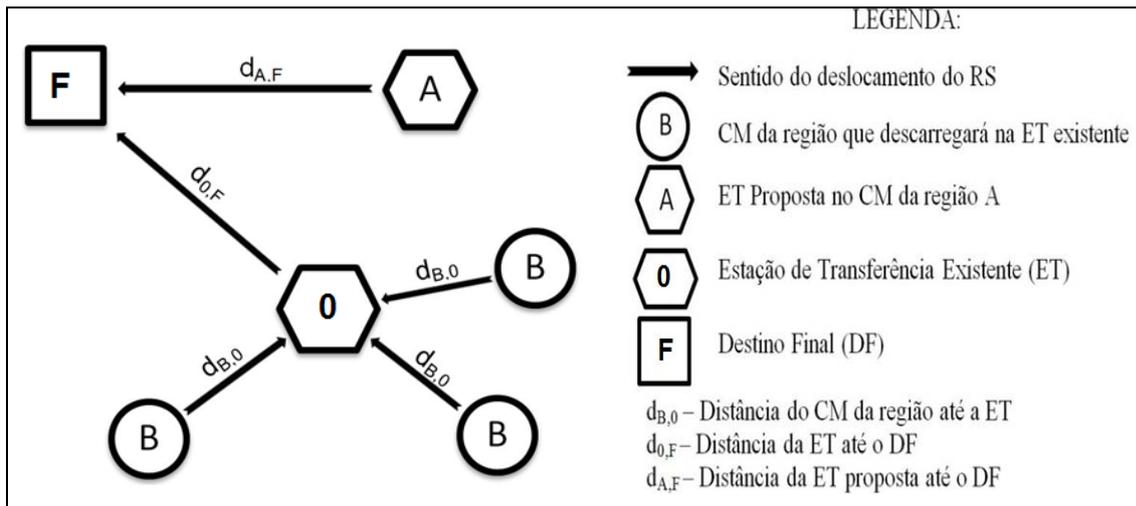


Figura 4-Esquema da distância percorrida na situação proposta.

$$L_0 = m_A \times \left\{ \frac{d_{A,0}^A}{cc_P} + \frac{d_{0,F}^A}{cc_G} \right\} + m_B \times \left\{ \frac{d_{B,0}^B}{cc_P} + \frac{d_{0,F}^B}{cc_G} \right\} \quad (2)$$

$$C_0 = \frac{(L_{PI} \times C_{PI}) + (L_{PE} \times C_{PE})}{(L_{PI} + L_{PE})} \quad (3) \quad C_{PE} = \text{custo por}$$

$$L_0 = m_A \times \left\{ \frac{d_{A,0}^A}{cc_P} + \frac{d_{A,F}^A}{cc_G} \right\} + m_B \times \left\{ \frac{d_{B,0}^B}{cc_P} + \frac{d_{0,F}^B}{cc_G} \right\} \quad (4)$$

$$C_0 = C_{I,0} + \frac{(L_{PI} \times C_{PI}) + (L_{PE} \times C_{PE})}{(L_{PI} + L_{PE})} \quad (5)$$

identificação das distâncias percorridas e dos custos, da situação atual e aquela proposta. A equação 2 representa a distância total percorrida na situação atual.

Em que:

L_0 = distância percorrida em um sentido (km);
 m_A = massa de RS da região que descarregará na ET proposta (ton);
 m_B = massa de RS da região que continuará a descarregar na ET atual (ton);
 cc_P = capacidade do caminhão pequeno (ton);
 cc_G = capacidade do caminhão grande (ton);

$d_{A,0}^A, d_{B,0}^B, d_{0,F}^A, d_{0,F}^B$ = distância viária- analisar índices superiores e inferiores- (km).

Para a determinação da ordenada do gráfico na situação atual, ou seja, do custo/ton referente ao percurso interno e externo, foi considerada a equação:

Em que:

C_0 = custo por massa do percurso interno e externo (R\$/ton);
 C_{PI} = custo por massa do percurso interno (R\$/ton);

massa do percurso externo (R\$/ton);

L_{PI} = distância percorrida no percurso interno (km);

L_{PE} = distância percorrida no percurso externo (km).

Na situação proposta, a produção de resíduo sólido (PRS) da região A já é encaminhada diretamente para o destino final, visto que está sendo proposta uma ET no CM dessa região. Dessa forma, a expressão correspondente a distância percorrida interna em A é nula, como mostra a equação 4.

Em que:

L_0 = Distância Percorrida (km);

m_A = massa de RS da região que descarregará na ET proposta (ton);
 m_B = massa de RS da região que continuará a descarregar na ET existente (ton);
 cc_P = capacidade do caminhão pequeno (ton);
 cc_G = capacidade do caminhão grande de transporte (ton);
 $d_{B,O}^B, d_{A,F}^A, d_{O,F}^B$ = distância viária- analisar índices superiores e inferiores- (km).

A fim de determinar custos na Situação proposta, a equação utilizada foi a 5.

Em que:

C_0 = custo por massa do percurso interno e externo (R\$/ton);
 $C_{I,O}$ = custo por massa para implantação e operação da ET proposta (R\$/ton);
 C_{PI} = custo por massa do percurso interno (R\$/ton);
 C_{PE} = custo por massa do percurso externo (R\$/ton);
 L_{PI} = distância percorrida no percurso interno (km);
 L_{PE} = distância percorrida no percurso externo (km).

Coleta de dados e análise da consistência dos dados

Considerando que a coleta convencional, corresponde a mais de 90% do total coletado, esse tipo de coleta foi o escolhido para análise. Optou-se por trabalhar com planilhas de periodicidade mensal, durante os anos de 2003 a 2010. Para posterior análise dos dados, somente o distrito Sede Ilha foi separado em dois, a saber: Sede Ilha bairro centro e Sede Ilha demais bairros. Identificou-se que aproximadamente 15% dos roteiros percorrem mais de um distrito. Nesses casos foi identificada a porcentagem percorrida pelo roteiro em cada distrito com base no roteiro

da coleta convencional. Após, esses dados foram agrupados mensalmente por distrito e não mais por roteiro.

Definição das regiões de coleta e projeção na geração de resíduo sólido

Para a definição da regionalização dos distritos considerou-se a proximidade geográfica e o andamento sazonal dos valores de produção de resíduo sólido de modo a definir regiões relativamente homogêneas em seu interior e diferentes entre si. Maiores detalhes dessa etapa podem ser verificados em Pereira (2013). Com os dados da geração de resíduo durante os anos de 2003 a 2010, foi realizada a projeção na geração de resíduo sólido ao longo do horizonte de projeto. Como já mencionado, em distritos com fluxo de turistas, a produção de resíduos aumenta durante a alta temporada, alcançando seu pico em janeiro. Assim, os dados de entrada para as projeções foram:

- Baixa temporada: média diária da produção de resíduo, por distrito, durante os meses de abril a novembro de cada ano.
- Alta temporada: geração diária de resíduo por distrito, no mês de janeiro de cada ano. Após, relação entre os meses de dezembro, fevereiro e março e o mês de janeiro do mesmo ano.

A região mais apta a ter a nova estação de transferência foi a que apresentou os maiores valores de PRS na projeção considerada ao longo do horizonte de projeto estabelecido. Foram considerados principalmente os dados da projeção na AT, visto representar o pico anual na PRS da maioria das regiões.

Pré-dimensionamento da estação de transferência

Inicialmente, para o pré-dimensionamento da instalação, o estudo de Costa (2005), indicou que

instalações com compactação e indireta (acumulação do resíduo) é o mais utilizado no Brasil. Assim, no presente estudo foi utilizada esta configuração e compactação por pistão. Para determinar a capacidade operacional da ET, foi usado o resultado da projeção na PRS, utilizando-se o maior valor de produção diária de resíduo ao longo do horizonte de projeto (2011-2025).

Para a identificação dos custos unitários, tanto na implantação como na operação da ET, tomou-se como base o estudo de Poloni e Reichert (2011). A fim de projetar o custo *versus* tonelada referente à implantação da instalação foi verificada a massa total de resíduo que será transbordada ao longo dos 15 anos projetados. Para a operação da estação de transferência foi considerada a produção de resíduo sólido do primeiro ano do horizonte de projeto (2011). Esse valor foi considerado constante para os outros anos (2012 a 2025), pois se acredita que os custos irão aumentar (no mínimo a inflação), porém a quantidade de resíduo recebida na instalação também aumentará, o que resulta em um quase estacionário custo por massa.

Identificação dos centros geométricos dos distritos, dos centros de massa das regiões e das distâncias percorridas

Trabalhou-se com o mapa digital do município de Florianópolis em programa SIG. Foi identificado o centro geométrico de cada distrito em coordenadas UTM (WGS 84). Em seguida, foram localizados os centros de massa das regiões, na alta e baixa temporada. Determinou-se, como ponto de partida para uma análise mais detalhada, que o melhor local para a ET é no CM de produção de resíduo da região apta a ter a instalação. As informações contendo a localização espacial do CM foram exportadas

para o programa Google Earth, onde foram identificadas distâncias viárias entre: os centros de massa das regiões e a ET; CM da região apta a ter instalação e o destino final e; ET e o destino final.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado do agrupamento dos distritos em seis regiões de coleta de RS pode ser visualizado na Tabela 1. A sigla de cada região corresponde a sua localização espacial. Após, foi realizada a projeção na PRS, para tal, identificou-se em cada região a regressão linear, o nível de significância (p-level) e o coeficiente de determinação (R^2). Na regressão linear, os valores da variável x são expressos em ano e y ton/dia. Os valores obtidos para a BT podem ser verificados na Tabela 2. Identifica-se que as regiões SL, CO e NT apresentam as melhores correlações entre as variáveis x e y. Nota-se que todos os valores encontrados são considerados estatisticamente significativos. Para a AT (Tabela 3), pode ser identificado que todos os resultados ficaram dentro do aceitável estatisticamente, exceto nas regiões CO e CN. Como já esperado, nessas regiões, não vem ocorrendo aumento expressivo na produção de resíduos sólidos no mês de janeiro, somente variações em torno do valor médio.

Dessa forma, nessas regiões não serão utilizados os valores encontrados na regressão linear e sim o valor da média da região. A média da região ND é de 87 ton/dia com desvio padrão de 8 ton/dia, já a região CO apresentou média de 122 ton/dia e desvio padrão de 7 ton/dia. Na sequência, os dados foram extrapolados e pôde-se realizar a projeção na PRS ao longo dos 15 anos de projeto. Assim, considerando a projeção de resíduos para a AT (Tabela 4), tem-se que a região NT terá a maior produção de RS no município em todos os anos do horizonte de projeto, ficando com o terceiro lugar na BT (Tabela

Tabela 1-Agrupamento dos distritos em regiões homogêneas

Sigla	Distritos
LE	Lagoa da Conceição e Barra da Lagoa.
ND	Rio Vermelho.
NT	Inglese, Cachoeira do Bom Jesus e Canasvieiras.
CN	Santo Antônio de Lisboa, Ratoles e Sede Ilha: demais bairros
CO	Sede Continente e Sede Ilha: bairro centro.
SL	Campeche, Ribeirão da Ilha e Pântano do Sul.

Tabela 2-Estimativa linear dos valores de PRS na BT, por região nos anos de 2003 a 2010.

Região	Regressão Linear (ton/dia)	p-level	R^2
LE	$y=0,942x - 1.871,8$	0,0003	0,90
ND	$y=0,476x - 949,9$	0,0039	0,78
NT	$y=3,418x - 6.808,2$	0,0000	0,99
CN	$y=2,698x - 5.332,6$	0,0016	0,83
CO	$y=2,663x - 5.223,1$	0,0000	0,95
SL	$y=1,922x - 3.817,0$	0,0000	0,99

Tabela 3-Estimativa linear dos valores de PRS em janeiro, por região nos anos de 2003 a 2010.

Região	Regressão Linear (ton/dia)	p-level	R^2
LE	$y=0,625x - 1.221,4$	0,0007	0,87
ND	$y=0,417x - 829,5$	0,0006	0,88
NT	$y=4,604x - 9.107,1$	0,0003	0,90
CN*	$y=2,667x - 5.264,6$	0,0359	0,55
CO*	$y=2,621x - 5.138,0$	0,0102	0,70
SL	$y=2,479x - 4.918,4$	0,0010	0,85

*= valores não utilizados

5). Nota-se que, tanto na alta quanto na baixa temporada, a sua participação na PRS aumenta com o tempo. Dessa forma, essa é a região mais apta a ter uma ET para os resíduos sólidos ali gerados. Embora a região ND não apresente os mesmos padrões de sazonalidade

anual na geração de resíduos, são regiões limítrofes. Assim, os resíduos gerados na região ND estarão mais próximos da ET da região NT do que da ET atual. Dessa forma, dimensionou-se uma estação para atender essas duas regiões. Como resultado desse dimensionamento,

identificou-se que a instalação proposta irá receber em 15 anos, aproximadamente 640 mil toneladas de RS, e o custo para a sua implantação será em torno de R\$2.600.000 (Tabela 6), resultando em R\$4 o custo por cada tonelada. O custo/ton anual da operação da ET é próximo de R\$622.000 e a quantidade de resíduo é próxima de 32 mil toneladas, resultando em R\$19/ton. Assim, o custo/ton referente a implantação e operação da instalação será de R\$23/ton.

Tabela 5-Projeção na PRS até 2025 em Janeiro

Região	2011		2015		2020		2025	
	t/dia	%	t/dia	%	t/dia	%	t/dia	%
LE	35,8	7,5	37,6	7,3	41,4	7,4	44,5	7,3
ND	9,6	2,0	11,3	2,2	13,4	2,4	15,5	2,5
NT	153,0	31,9	171,4	33,2	194,4	34,5	217,4	35,7
CN	86,9	18,1	86,9	16,9	86,9	15,4	86,9	14,3
CO	122,0	26,7	122,0	25,6	122,0	24,6	122,0	23,6
SL	66,3	13,8	76,2	14,8	88,6	15,7	101,0	16,6
Total	478,9	100,0	515,5	100,0	562,8	100,0	609,3	100,0

Tabela 4-Projeção na PRS até 2025 na BT

Região	2011		2015		2020		2025	
	t/dia	%	t/dia	%	t/dia	%	t/dia	%
LE	23,2	6,3	26,9	6,4	31,6	6,6	36,4	6,7
ND	8,4	2,3	10,3	2,5	12,7	2,7	15,1	2,8
NT	65,6	17,7	79,3	19,0	96,4	20,1	113,5	21,0
CN	93,9	25,4	104,7	25,0	118,2	24,7	131,7	24,4
CO	131,4	35,5	142,0	34	155,3	32,4	168,6	31,3
SL	47,3	12,8	55,0	13,2	64,6	13,5	74,2	13,8
Total	369,8	100,0	418,2	100,0	478,8	100,0	539,5	100,0

Tabela 6- Custo de Implantação da ET Proposta

ITEM	SERVIÇOS	UNI	QNTD	CUSTO UNIT(R\$)	CUSTO TOTAL(R\$)
1	ÁREA				
1.1	Compra da Área	m ²	7.000	80	560.000
1.1.1	Serviços Preliminares				
1.1.1.1	Remoção de Vegetação	m ²	7.000	0,21	1.470
1.1.1.2	Limpeza da Área	m ²	7.000	0,23	1.610
1.1.1.3	Terraplanagem	m ²	7.000	0,48	3.360
1.1.2	Licenciamentos Ambientais	vb			188.583
1.2	UNIDADE DE CONTROLE E PESAGEM				
1.2.1	Balança	unid.	1	44.000	44.000
1.3	UNIDADE DE RECEPÇÃO				
1.3.1	Pátio de Armazenamento				
1.3.1.1	Área Construída	m ²	1.000	648	648.000
1.3.1.2	Piso Estrutural	m ²	2.150	70	150.500

1.3.2	Silo de Descarga				
1.3.2.1	Escavação	m ³	1.040	3,9	4.056
1.3.2.2	Concreto Armado	m ³	14	850	11.900
1.3.3	Equipamentos de Transferência				
1.3.3.1	Prensa	unid.	2	63.800	127.600
1.3.3.2	Pá-carregadeira	unid.	1	55.000	55.000
1.4	CABINE DE CONTROLE				
1.4.1	Área de cabine	m ²	25	864	21.600
1.4.2	Equipamentos da cabine	unid.	1	50.000	50.000
1.5	GERADOR DE ENERGIA EMERGENCIAL				
1.5.1	Motor gerador de 250kVA	unid.	1	150.000	150.000
1.5.2	Área do motor gerador	m ²	25	130	3.250
1.6	OFICINA DE MANUTENÇÃO				
1.6.1	Área	m ²	150	130	19.500
1.7	INSTALAÇÕES DE APOIO				
1.7.1	Cercamento				
1.7.1.1	Cercamento com tela de alambrado	m ²	700	13	9.100
1.7.1.2	Mourões de concreto	unid.	90	15	1.350
1.7.2	Cortinamento vegetal				
1.7.2.1	Árv. peq. porte	unid.	49	4,5	221
1.7.2.2	Árv. médio porte	unid.	35	6,5	228
1.7.2.3	Árv. grande porte	unid.	24	8,0	192
1.7.3	Comunicação				
1.7.3.1	Comunicadores	unid.	3	300	900
1.7.3.2	Semáforos	unid.	6	1.500	9.000
1.7.4	Controle de contaminação				
1.7.4.1	Hidrantes	unid.	2	1.000	2.000
1.7.4.2	Reservatório de água da chuva	unid.	2	800	1.600
1.7.4.3	Cisternas	unid.	2	3.650	7.300
1.7.4.4	Extratores de ar e filtros	unid.	2	300	600
1.7.5	Instalações Sanitárias				
1.7.5.1	Área construída	m ²	36	1.080	38.880
1.7.6	Escritório				
1.7.6.1	Área Construída	m ²	120	1.080	129.600
1.7.6.2	Equipamentos de infor. e mobiliário	unid.	1	50.000	50.000
1.7.7	Estacionamento				
1.7.7	Estacionamento	m ²	120	300	36.000
1.7.8	Instala. contra incêndios e raios				
1.7.8	Instala. contra incêndios e raios	unid.	25	100	2.500
				TOTAL	2.329.899
TOTAL (acrescido de fator de segurança de 10%)					2.562.889

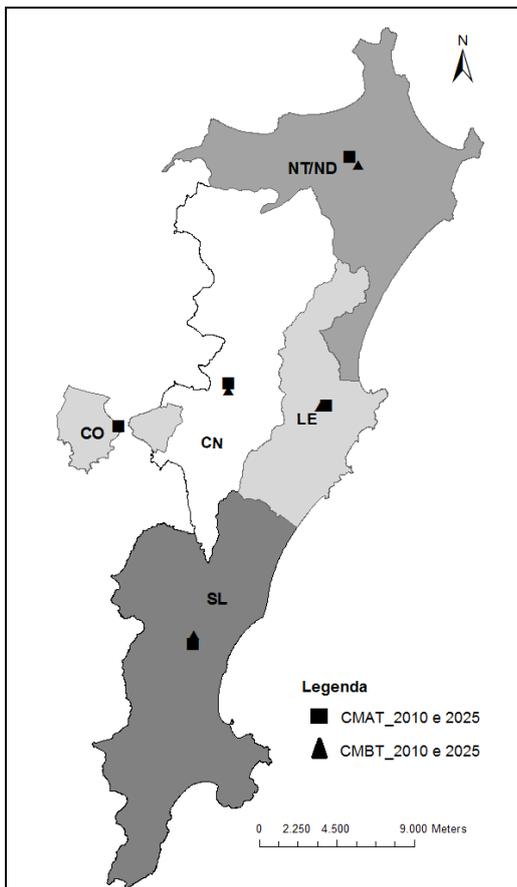


Figura 6-CMAT e CMBT das regiões do município, para os anos de 2010 e 2015.

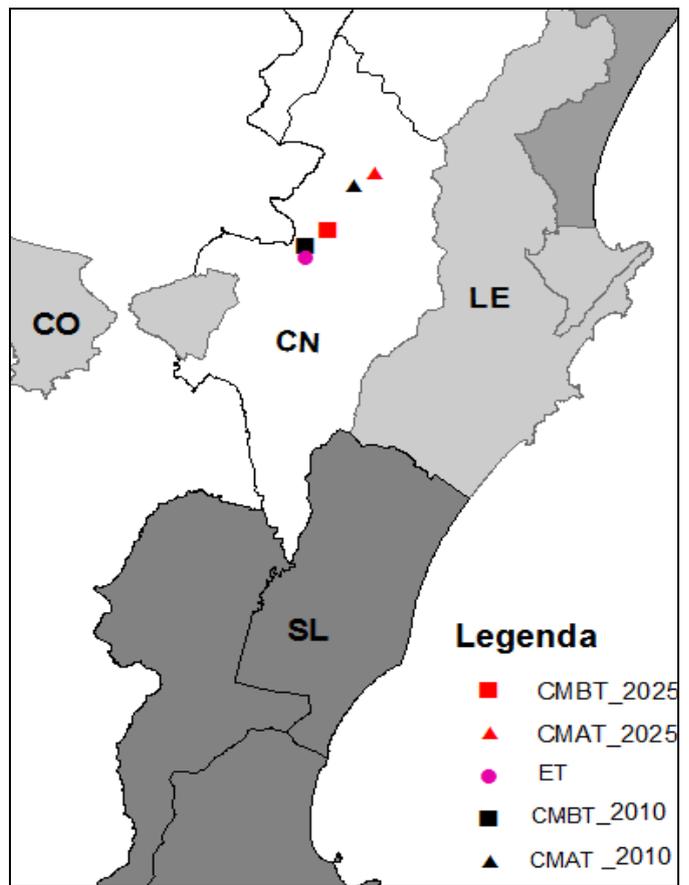


Figura 5-CM do município de Florianópolis, anos 2010 e 2025.

Centro de massa na produção de resíduo sólido

Após a identificação dos centros geométricos dos distritos, foi possível localizar os centros de massa de cada região (Figura 5). Observa-se uma grande proximidade geográfica entre os centros de massa da baixa e alta temporada da mesma região, principalmente na região CO. Após, foram calculadas as distâncias viárias entre os centros de massa e as instalações (estação de transferência e aterro sanitário). A distância média do CM da região NT/ND até a ET atual é de 21 km e até o aterro sanitário fica em 70 km. Também foram identificados os centros de massa do município de Florianópolis, para a alta e baixa temporada e para o ano de 2010 e 2025 (Figura 6). Nota-se que a ET atual está bem localizada, visto que se encontra na região CN, mesma região em que estão inseridos todos

os centros de massa do município. No primeiro ano de análise, a distância viária do CM da BT à atual ET é de 850 m, aumentando para 4,6 km na AT. Já no ano de 2025, a distância viária do CM da BT até a ET passa para 1,8 km, aumentando para 5,3 km na AT. Essa tendência, do CM se deslocar mais ao norte do município, segue a projeção realizada.

Viabilidade de implantação da estação de transferência

Através de dados fornecidos pela COMCAP, identificou-se que o custo do percurso interno da coleta convencional é em torno de R\$ 230/ton, já o custo do percurso externo da mesma coleta é de R\$23/ton. Os caminhões que realizam o percurso interno possuem diferentes capacidades de carga, assim, foi verificado que a capacidade média desses caminhões

é de 4,75 ton/caminhão. Já os caminhões que realizam o percurso externo têm capacidade de 28ton/caminhão. Considerando a distância percorrida no percurso interno (L_{pi}) na situação atual (Tabela 7), identifica-se que a região correspondente a maior distância é a NT/ND. Na AT, no ano de 2010, a distância percorrida dessa região é quase igual ao total percorrido pelas outras regiões. Já em 2025, na AT, a distância percorrida por essa região passa da metade do total do município.

Comparando a situação atual e Proposta, do que diz respeito à distância percorrida no percurso interno, tem-se que com a ET na região NT/ND, ocorre uma redução nessa distância, na ordem de 35% (ano de 2010 na BT) a 50% (ano de 2025 na AT). Examinando o percurso interno e externo na situação atual, nota-se uma redução média de 40% do percurso interno para o externo

Tabela 8-Distância percorrida no percurso interno na situação atual, somente ida

Região	2010		2025	
	BT (km/dia)	AT (km/dia)	BT (km/dia)	AT (km/dia)
LE	47	106	76	134
NT/ND	325	689	590	1.025
CN	18	42	25	35
CO	308	317	410	346
SL	222	310	363	492
Total	920	1.463	1.465	2.032

Tabela 7-Equação da reta para a situação atual e Proposta na região NT/ND.

Ano	Temporada	Situação atual	Situação proposta
2010	BT	$y = 0,093 * x$	$y = 23 + 0,073 * x$
	AT	$y = 0,065 * x$	$y = 23 + 0,051 * x$
2025	BT	$y = 0,061 * x$	$y = 23 + 0,048 * x$
	AT	$y = 0,051 * x$	$y = 23 + 0,041 * x$

(L_{PE}). Já analisando a distância percorrida no percurso externo na situação proposta, percebe-se que a participação da região NT/ND na distância percorrida do percurso externo também aumenta de 2010 para 2025, passando de em média 30 para 40% do total percorrido pelo município. Após a utilização das equações apresentadas na metodologia, foi possível identificar em cada caso: distância percorrida total, correspondente a abscissa do gráfico (km/dia); o custo/ton total, representado pela ordenada do gráfico (ton/dia) e; equação da reta (Tabela 8).

Como apresentado na Tabela 8, para todos os casos analisados, a situação proposta apresentou coeficiente angular da reta menor do que a situação atual, isso indica uma possível viabilidade da ET na região NT/ND. Dessa forma, foi analisado através da comparação do gráfico entre as duas situações, se mesmo com o custo para a implantação e operação da instalação foi verificada a sua viabilidade. O primeiro resultado apresentado é a comparação entre os sistemas na BT no ano de 2010.

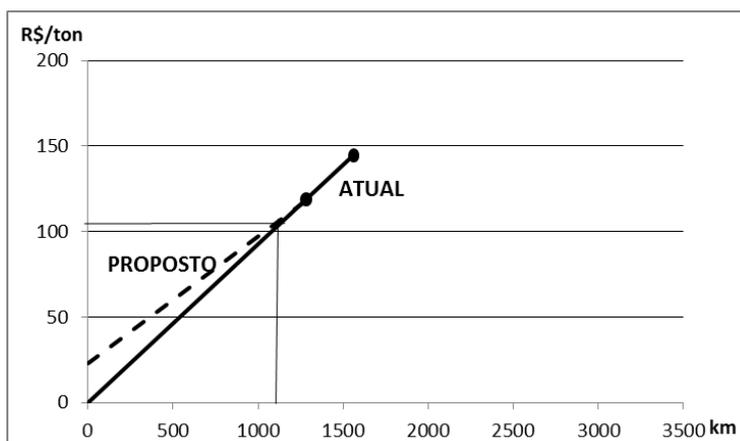


Figura 8-Viabilidade da ET proposta na região NT/ND na BT em 2010.

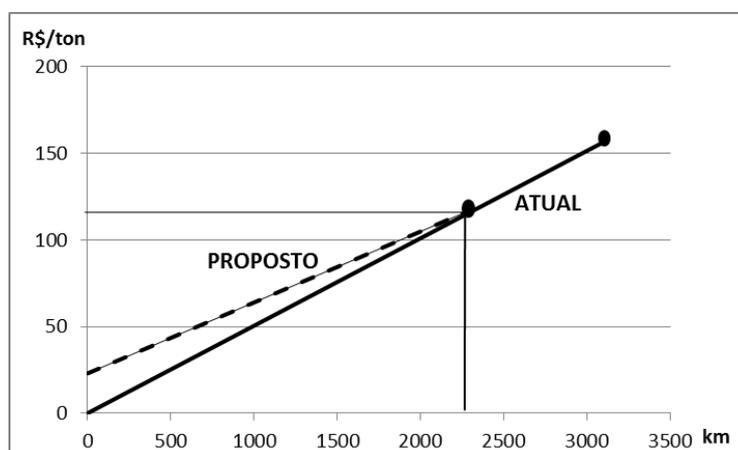


Figura 7-Viabilidade da ET proposta na região NT/ND

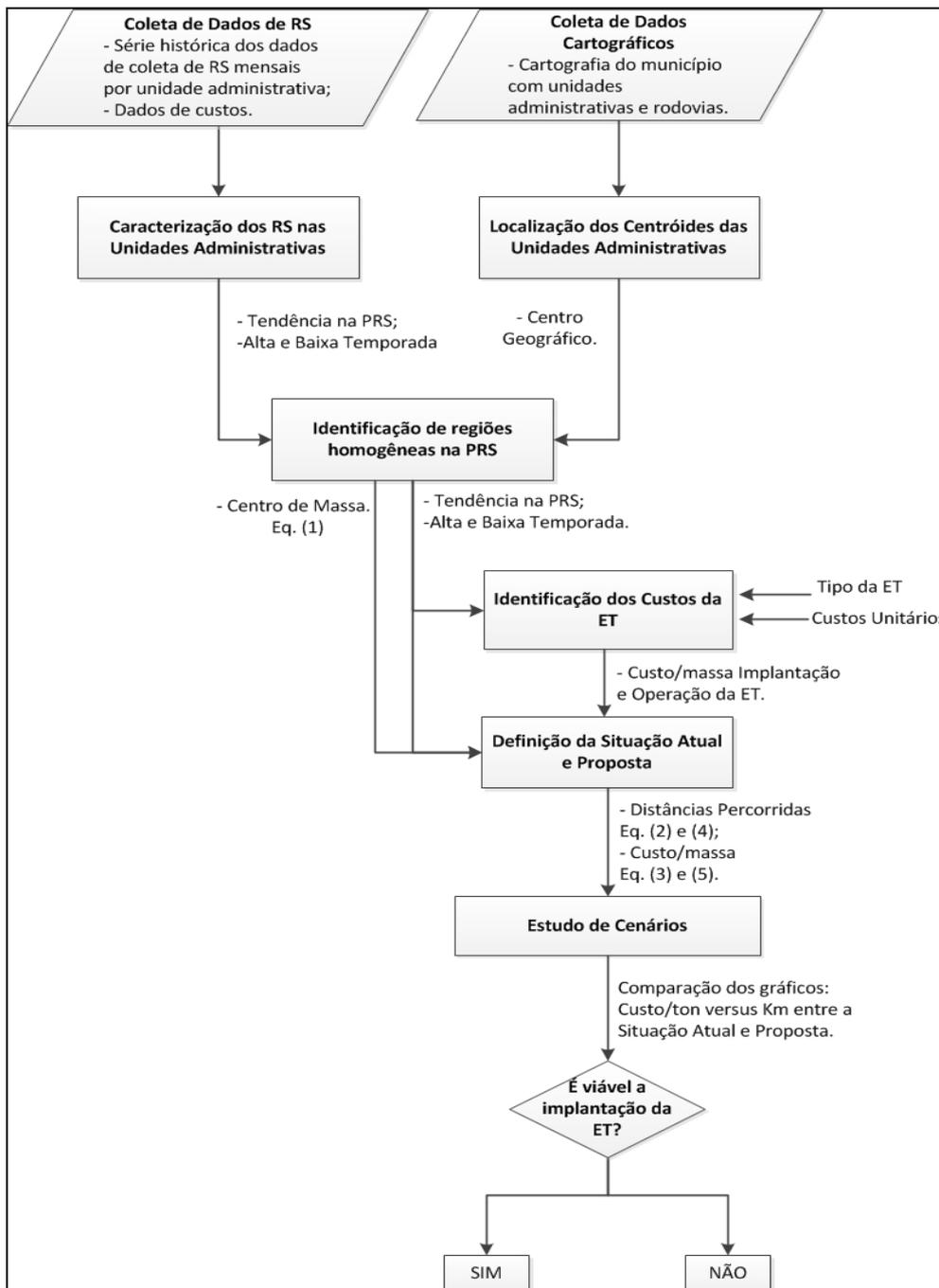


Figura 9-Fluxograma detalhado com etapas da metodologia proposta.

Ao comparar os gráficos desses sistemas, identificou-se a viabilidade da instalação na região NT/ND na BT (Figura 7). A distância percorrida até interseção das duas retas, ou seja, até o ponto de virada, é de 1.150 km e o custo de R\$107/ton. Nota-se que, utilizando a situação proposta, o custo reduziu R\$ 27/ton, ou seja, em torno de 19%.

Resultados similares foram observados ao comparar os sistemas na alta temporada no ano de 2010 e na baixa temporada em 2025.

Mesmo com o custo para a implantação e operação da estação pôde-se observar uma redução de R\$ 38/ton no primeiro caso e de R\$ 31/ton no segundo. Em ambas as situações, a redução percentual ficou em torno de 25%. A Figura 8 mostra a viabilidade da estação de transferência na AT em 2025. A distância percorrida até o ponto de virada é de 2.300 km e o custo R\$117/ton. O custo passou de R\$158/ton para R\$115/ton, reduzindo R\$ 43/ton, ou seja, em

torno de 27% de redução no custo total do sistema. Por fim, para melhor elucidar a aplicação da metodologia proposta para futuros trabalhos que visem identificar a viabilidade de estação de transferência em sistemas de resíduos sólidos urbanos, apresenta-se o fluxograma (Figura 9) que mostra de forma detalhada as etapas dessa pesquisa.

CONCLUSÕES

Baseado nos resultados, através da metodologia proposta, para a identificação da viabilidade de implantação de estação de transferência tornou-se possível:

- Determinar qual a região mais apta do município a ter uma estação de transferência para atender a sua geração de resíduos sólidos, com o uso da projeção na produção de resíduos sólidos (utilizando regressão linear);
- Apontar, com o uso da tecnologia SIG, o local ideal para a estação de transferência após a identificação do centro de massa de geração de resíduos sólidos da região mais apta a ter instalação;
- Definir, com o auxílio do software Google Earth, as distâncias viárias entre os centros de massa de geração de resíduos e as instalações (aterro sanitário e estação de transferência) por meio da localização dos centros de massa de todas as regiões, na alta e baixa temporada (se for o caso), para início e fim de projeto;
- Identificar a viabilidade de implantação da estação de transferência na comparação entre a distância percorrida *versus* custo/ton da situação atual e da proposta.
- Verificar no município de Florianópolis uma redução média de 24% nos custos com coleta e transporte dos resíduos sólidos com a implantação de uma estação de transferência na região mais apta a tê-la.
- Constatar que os principais parâmetros que interferem na implantação de uma estação de transferência são: custo/ton para a operação da estação de transferência; produção de resíduos sólidos e distância viária percorrida referentes a região em que está sendo proposta a instalação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro proveniente Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e agradecem o apoio na disponibilização de dados proveniente da Companhia de Melhoramentos da Capital (COMCAP).

REFERÊNCIAS

CHANG N.B.; LIN, Y.T. (1997). **Optimal siting of transfer station locations in a metropolitan solid waste management system**, Journal of Environmental Science and Health Part A-Environmental Science and Engineering & Toxic And Hazardous Substance Control 32 (8), pp. 2379/2401, 2008.

CHATZOURIDIS, C.; KOMILIS, D. **A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming**, Resources, Conservation and Recycling, Vol 60, 2012.

COSTA, H.S. **Estação de transferência de resíduos sólidos domiciliares: Histórico e proposta de procedimentos para o seu planejamento e controle operacional**. HOLOS Environment, v.5, n.1, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados do IBGE Cidades, 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/opwindow.htm?1>> Acesso em: 02 dez 2011.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO DE FLORIANÓPOLIS. **Mapa digital de Florianópolis, com delimitação de bairros e distritos**. Florianópolis, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados do Censo, 2010**. Disponível em <<http://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso em: 02 dez 2011.

KOMILIS, D.P. **Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste**, Waste Management, Vol 28, 2008.

PEREIRA, C.D. **Metodologia para implantação de estação de transferência de resíduos sólidos urbanos: um exemplo de aplicação**. 2013.170f. Dissertação (Mestrado)- Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

POLONI, R.L.; REICHERT, G.A. **Proposta para Implantação de uma Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos para o Município de Caxias do Sul - RS**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

RAHMAN, M.; KUBY, M. **A multiobjective model for locating solid waste transfer facilities using an empirical opposition function**, Infor, Vol 33, n 1, 1995.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Dados do Diagnóstico de Resíduos Sólidos, 2010**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>> Acesso em: 20 fev 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Solid Waste And Emergency Response. **A Waste Transfer Station: A Manual for Decision-Making**. Washington, 2002.

Recebido em: fev/2013
Aprovado em: out/2013