



### III-089 - REGIONALIZAÇÃO DA DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) NO ESPÍRITO SANTO

**Carlos Roberto de Lima** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil, Especialista em Engenharia Sanitária pela Escola Nacional de Saúde Pública - Fundação Oswaldo Cruz- RJ, Subsecretário de Programas Urbanos da Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano do Espírito Santo.

**Florence V. Braga Silva**

Engenheira Civil, M.Sc. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG, analista da Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN.

**Fernando Rodrigues da Matta Baptista**

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES, chefe da divisão de operação de esgoto da Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN.

**Hideko Nagatani Feitoza**

Mestre em Sistema de Informações Geográficas pela ITC – Holanda, Assessora de Geoprocessamento do Sistema de Integrado de Bases Georeferenciadas do Espírito Santo – GEOBASES – Unidade Central.

**Carlos Eugênio Alves**

Arquiteto Urbanista, Especialista em urbanismo, técnico de planejamento do Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Sete de Setembro, 362 - Centro, Palácio da Fonte Grande - 5º andar, CEP: 29015-000 - tel: (27) 3223-1077 - e-mail: [carlos.roberto@sedurb.es.gov.br](mailto:carlos.roberto@sedurb.es.gov.br)

#### RESUMO

A destinação final do lixo, mesmo tendo apresentado avanços nos últimos anos, ainda ocorre de maneira inadequada em muitos municípios do Espírito Santo, sobretudo nos menores onde as soluções carecem de sustentabilidade devido à falta de escala. Diante desta realidade, o Governo do Estado desenvolveu o Projeto Espírito Santo sem Lixão, que tem como principal objetivo a implantação de infra-estrutura de destinação final adequada para 100% do lixo gerado no ES. Para tanto, serão construídos sistemas regionais compostos de estações de transbordo, transporte regional de RSU e aterro sanitário regional. O que se pretende neste artigo é descrever a primeira etapa do projeto ES sem Lixão que foi o desenvolvimento do Estudo de Regionalização. O objetivo da Regionalização foi o de definir as regiões ótimas (conjunto de municípios) que irão constituir cada um dos sistemas regionais de destinação final adequada de RSU. O estudo também estabeleceu quantidades e localizações aproximadas das estações de transbordo e dos aterros sanitários regionais, bem como as rotas dos transportes regionais de RSU.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Regionalização, Aterro Sanitário, Estação de Transbordo, Consórcio Público.

#### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos grandes desafios para as populações do planeta, deixando, inclusive, de ser um problema unicamente associado aos países pobres, subdesenvolvidos ou em desenvolvimento para se incluir na agenda negativa dos países do 1º mundo.

A cidade de Nova York nos EUA, por exemplo, produz diariamente cerca de 11 mil toneladas de RSU e está enfrentando distâncias superiores a 500 km para destiná-los em aterros situados em estados vizinhos. Não houve planejamento para que a cidade contasse com solução própria assim que o aterro sanitário de Fresh Kills, situado numa ilha, fosse desativado em 2001 (BROW, 2007).

Já a cidade italiana de Nápoles viveu uma situação dramática em 2008, sendo alvo da imprensa internacional quando suas ruas ficaram literalmente atoladas em lixo. A ausência de planejamento de longo prazo e de uma gestão efetiva culminou na falta de alternativas para o tratamento e a destinação final dos RSU. Como solução emergencial, centenas de toneladas de RSU tiveram que ser levadas diariamente para a Alemanha em um trem de 56 vagões.



A situação do gerenciamento de RSU na América Latina e Caribe é ainda mais crítica. Das 300 mil toneladas coletadas diariamente, cerca de 230 mil vão para locais inadequados, ocasionando problemas ambientais e de saúde pública (CANTANHEDE, 2007).

No Brasil, os dados da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2000) indicaram que a destinação final de RSU em lixões ocorre em 59,0% dos municípios e que apenas 12,6% encaminham os RSU para aterros sanitários. Outras formas de disposição final também foram catalogadas, como o aterramento controlado em 16,8% dos municípios, vazadouros em áreas alagadas em 0,6% e aterros de resíduos especiais em 2,6%.

A situação da destinação final do lixo no Estado do Espírito Santo é análoga a que ocorre no Brasil. Um diagnóstico realizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, durante o período de 2005 a 2007, revelou que 26 municípios (ou 33,3%) estão destinando seus RSU para três aterros sanitários privados licenciados, sendo dois deles localizados na região metropolitana, nos municípios de Cariacica e Vila Velha e outro no município de Aracruz. Os demais 52 municípios (ou 66,7%) estão utilizando, inadequadamente, lixões como forma de destinação final.

Em relação à massa de lixo gerada nos municípios capixabas, estima-se que 1.634 t/dia (ou 67,2%) de resíduos sólidos urbanos estão sendo destinadas para os três aterros sanitários, enquanto 798 t/dia (ou 32,8%) estão sendo dispostas incorretamente nos lixões. Portanto, conclui-se que os municípios mais populosos já possuem destinação final adequada em aterro sanitário e que os municípios de menor porte ainda continuam utilizando lixões.

Essa diferença de gestão entre os municípios de pequeno e grande porte tem algumas explicações. Dentre as principais está a crônica falta de recursos humanos e financeiros enfrentada pelos pequenos municípios, que têm outras prioridades na aplicação do seu escasso orçamento. Outro fator relevante diz respeito à inviabilidade de escala para a implantação de unidades individuais de destinação final adequada em cada um desses pequenos municípios, ou seja, é mais barato, proporcionalmente, operar um aterro sanitário que recebe 200 t/dia de RSU do que 10 aterros que recebem de 20 t/dia. Além disso, o ganho de escala que ocorre nos municípios de grande porte é atrativo para a iniciativa privada, que implantou muitos dos aterros sanitários atualmente existentes.

A distância de transporte dos RSU da sede municipal até os aterros sanitários licenciados existentes no Espírito Santo também é um fator que deve ser analisado. Alguns municípios, apesar de contarem com soluções ambientalmente adequadas, estão distantes dos locais de destinação final e têm que arcar com um elevado custo de transporte, o que não confere sustentabilidade econômica para a solução adotada.

Diante desta realidade, foi desenvolvido, no âmbito do Governo do Estado do Espírito Santo, o Projeto Espírito Santo sem Lixão, que se elegeu como um dos vinte projetos prioritários para operacionalização do Planejamento Estratégico no período de 2007 a 2010. O objetivo central deste Projeto é a concepção, construção e operação de sistemas regionais de destinação final adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU), para atender 100% do Estado. A meta em relação à destinação final no Estado é que todos os municípios venham destinar os RSU gerados e coletados em seus territórios para aterros sanitários regionais.

Cada aterro sanitário será o centro de um sistema regional de destinação final adequada de RSU, que contará ainda com número compatível de estações de transbordo e com logística de transporte integrado regional, para garantir o escoamento otimizado dos RSU de cada município até o aterro sanitário. Estes sistemas regionais serão operados por empresas privadas especializadas, em regime de concessão de prestação de serviços públicos, mediante regulações e licitações estabelecidas por Consórcios Públicos Regionais, que serão formados pelo Estado e pelos Municípios, de acordo com a Lei Federal Nº. 11.107/05 – a Lei de Consórcios Públicos.

Cumpre destacar que os recursos financeiros necessários à implantação dos sistemas regionais (constituição dos consórcios públicos, estudos ambientais, projetos executivos, execução das obras civis, desapropriação de terrenos etc.) serão disponibilizados pelo Estado. Os municípios que aderirem ao projeto, além de constituírem um consórcio público com o Estado na sua região, deverão realizar o rateio anual das despesas operacionais do sistema (despesas para o funcionamento dos consórcios e operação das estações de transbordo, do aterro sanitário regional e do transporte de RSU intra-sistema).



As ações locais de limpeza pública continuarão a cargo dos municípios, que deverão gerenciar individualmente seus sistemas, com fortes ações de sustentabilidade ambiental que incentivem: (a) a não geração de resíduos; (b) a reutilização e (c) a reciclagem economicamente sustentada. Além disso, atenção especial deverá ser dada para o fechamento dos lixões atualmente existentes e recuperação das áreas degradadas.

O que se pretende neste artigo é descrever a primeira etapa do projeto ES sem Lixão, que foi o desenvolvimento do Estudo de Regionalização. O objetivo da Regionalização foi definir as regiões ótimas (conjunto de municípios) que irão constituir cada um dos sistemas regionais de destinação final adequada de RSU. O estudo também estabeleceu quantidades e localizações aproximadas das estações de transbordo e dos aterros sanitários regionais, bem como as rotas dos transportes regionais de RSU.

O Estudo, que resultou no mapa da regionalização, é a base para a contratação dos projetos executivos subsequentes que irão produzir o resultado final de cada um dos sistemas regionais. Ele tem caráter básico porque, apesar de ter sido desenvolvido de maneira aprimorada, com uma base de dados atualizada composta por diversas variáveis, não foram realizados levantamentos e trabalhos mais aprofundados, só possíveis em campo, que identificam dificuldades ou facilidades que poderão interferir na localização final das unidades de cada sistema.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A execução do Estudo foi realizada sob coordenação da Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano – SEDURB e contou com uma equipe multidisciplinar composta por técnicos de diversos órgãos: Secretaria de Estado Extraordinária de Gerenciamento de Projetos – SEGEP, Sistema de Integrado de Bases Georeferenciadas do Espírito Santo – GEOBASES – Unidade Central, Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo – DER e Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA.

### 2.1. Premissas do Estudo de Regionalização

As premissas adotadas para o desenvolvimento do Estudo de Regionalização foram:

#### a) Gestão Associada Baseada na Lei de Consórcios Públicos (Lei Federal Nº. 11.107)

Uma das premissas fundamentais do projeto foi a gestão associada de serviços públicos, baseada na Lei de Consórcios Públicos (Lei Federal Nº. 11.107/05), que garante segurança jurídica para a constituição dos sistemas regionais. Partindo desse princípio, buscou-se a união de municípios para a realização de objetivos de interesse comum, no caso a destinação final adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU).

#### b) Busca de escalas adequadas ao melhor desempenho econômico

É fundamental que a massa de RSU destinada diariamente ao aterro sanitário regional proporcione a escala necessária para a otimização do uso dos equipamentos e da mão-de-obra (administrativa e operacional), que estarão alocados exclusivamente para as operações no aterro.

Assim, a partir da análise da composição dos preços de operação para aterros sanitários de vários portes, foi possível determinar a quantidade mínima de resíduos a partir da qual os sistemas regionais se tornarão economicamente viáveis. Além disso, o custo do transporte dos RSU tem extrema relevância no conjunto das despesas de um sistema de gerenciamento de limpeza pública. Portanto, quanto menores forem as distâncias entre as sedes municipais, as estações de transbordo e o aterro sanitário regional, menores serão os custos com o transporte de RSU no sistema regional.

Na definição das regiões buscou-se um equilíbrio entre a dimensão do aterro sanitário para a obtenção do benefício de escala (que depende de um agrupamento mínimo de municípios) e as menores distâncias possíveis para a realização do transporte regional dos RSU. Deste modo, quanto maior o número de regiões estabelecidas (quanto mais se divide o Estado), as distâncias e despesas com transporte serão menores, entretanto, as despesas operacionais dos aterros sanitários regionais (que dependem da escala) serão proporcionalmente maiores.



Para a definição das rotas de transporte de RSU, foi considerada apenas a malha viária asfaltada, sendo realizado um levantamento das rodovias atualmente existentes no Estado, bem como das que estarão disponíveis em 2010 (informações do DER), ano de início do funcionamento dos sistemas regionais.

No que tange aos custos com o transporte, também é necessário considerar que a viabilidade econômica do sistema regional será tanto maior quanto mais próximo o aterro sanitário se situar do centro de massa de produção de resíduos sólidos urbanos da região atendida. Desta maneira, os aterros sanitários regionais foram pré-localizados (simulados) junto aos municípios mais populosos, ou em áreas do entorno destes municípios, que estejam situadas próximas das rodovias que serão utilizadas no transporte regional de resíduos.

O aspecto determinante no Estudo de Regionalização é a despesa operacional do sistema, pois, como o Governo do Estado irá custear toda a implantação dos empreendimentos, o retorno do capital investido não será incluído no preço dos serviços prestados. A inexistência do retorno do capital investido contribui para a diminuição do custo operacional do sistema, fazendo com que a viabilidade econômica seja mais facilmente obtida.

A sustentabilidade econômica é relevante para os municípios e para tornar os empreendimentos atrativos para a iniciativa privada, já que a operação será realizada por empresas concessionárias.

**c) Equalização de benefícios entre os entes consorciados – Subsídios cruzados**

A solução adotada também teve na sua lógica a equalização de benefícios entre os entes consorciados, com a adoção de subsídios cruzados para a formação de um preço unitário por tonelada de RSU. Ou seja, foi realizada a divisão do custo total das operações consorciadas pela quantidade total de resíduos gerada em cada região, sendo obtido um preço único por tonelada de RSU a ser pago, proporcionalmente, pelos municípios nas operações consorciadas.

**d) Aterros sanitários de alta tecnologia**

Os aterros sanitários regionais terão concepção moderna, sendo projetados e construídos com técnicas atualizadas e testadas, que possibilitem a máxima exploração econômica, garantam proteção ambiental e sanitária, possuam vida útil mínima de 25 anos e que apresentem custos operacionais aceitáveis, dentro da capacidade de pagamento dos municípios consorciados.

**e) Operações satélites de coleta e transporte e operações de recuperação econômica de materiais recicláveis a cargo de cada município.**

Foram chamadas de “operações satélites” as operações de coleta (convencional ou seletiva) e transporte de RSU dentro dos territórios dos municípios até as estações de transbordo, ou até os aterros sanitários regionais, no caso dos municípios próximos dos aterros. Estas operações continuarão a ser realizadas individualmente pelos municípios integrantes do sistema regional. Como forma de viabilizar tal premissa, foi estabelecida uma distância máxima de 30 km para a realização do transporte satélite de RSU até as estações de transbordo. Assim, o custo destas operações será mais equilibrado entre os municípios e compatível com suas respectivas capacidades financeiras.

A Figura 1, a seguir, ilustra o modelo proposto para o sistema regional de destinação final de RSU.

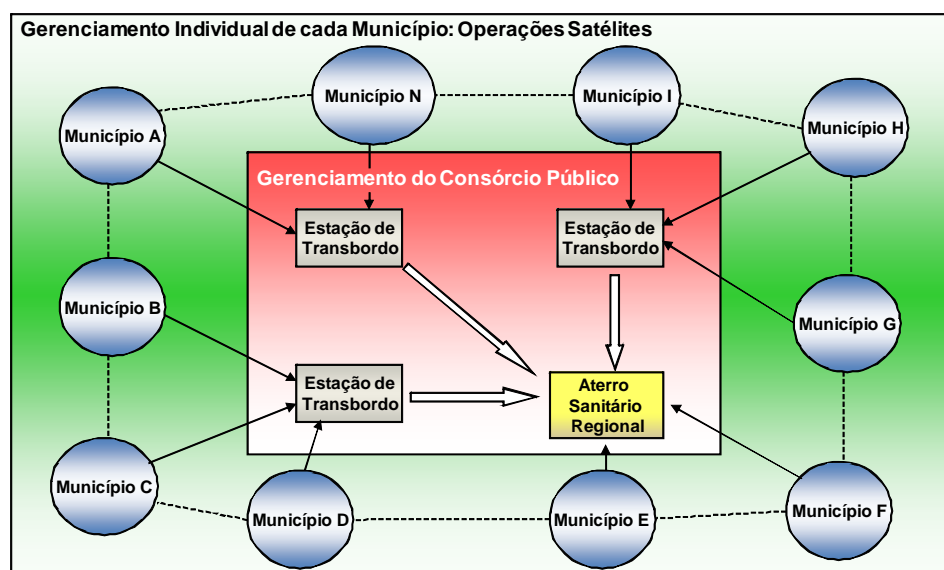


Figura 1 – Modelo do Sistema Regional de Destinação Final de RSU

## 2.2. Base de Dados Utilizada

A base de dados utilizada no desenvolvimento do Estudo de Regionalização é composta pelos seguintes itens:

### a) Malha viária estadual pavimentada até 2010.

Para a realização dos estudos relativos aos trajetos do transporte regional de RSU foi considerada a malha viária asfaltada que estará disponível no Estado do Espírito Santo no ano de 2010. Estes dados foram obtidos junto ao DER/ES e analisados com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do software ArcGIS/Esri.

### b) Áreas ambientalmente protegidas.

Foi realizado o mapeamento das áreas ambientalmente protegidas existentes no Estado do Espírito Santo, tais como as unidades de conservação (UC's) e áreas de proteção permanente (APP's), para excluí-las das pré-locações das unidades dos sistemas regionais. Além disso, também foram mapeados os tipos de solos, a topografia e os recursos hídricos existentes. As informações foram analisadas com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do software ArcGIS/Esri.

### c) Projeção populacional e estimativa da produção de RSU até 2030.

A projeção de crescimento populacional foi estimada com base no censo do IBGE/2000. Foram utilizadas as taxas de crescimento geométrico projetadas pelo IBGE até o ano de 2010. Para o intervalo entre os anos de 2011 e 2030, foi utilizada a mesma taxa de crescimento do ano 2010, já que as estimativas desse período ainda não se encontravam disponíveis. Também foram levadas em consideração as variações sazonais existentes, principalmente nos municípios litorâneos turísticos do Estado.

Para estimar a quantidade de RSU gerada em cada município, foram utilizados os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2000), sendo considerada a taxa de geração per capita de RSU que varia de acordo com número de habitantes dos municípios (Tabela 1). Por medida de segurança, foi acrescida na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) uma pequena parcela referente aos resíduos da construção civil, que com frequência são coletados junto com os RSU, e de resíduos provenientes de atividades relativas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Cumprir destacar que durante o desenvolvimento do Estudo de Regionalização foi utilizada apenas a estimativa de produção de RSU referente ao ano de 2010. Desta forma, os cálculos realizados na composição de preços dos aterros sanitários, das estações de transbordo e do transporte regional de RSU consideraram a quantidade de resíduos produzida em 2010.



**Tabela 1 – Geração per capita de RSU por faixa populacional municipal**

Intervalo populacional dos municípios	Média de habitantes por município	Taxa per capita média de RSU coletada (kg/hab.dia) <sup>(1)</sup>		
		Domiciliar - Comercial	Público	Total
< 15 mil	6.946	0,44	0,19	0,63
15 e 50mil	25.438	0,51	0,20	0,71
50 e 100mil	69.529	0,55	0,18	0,73
100 e 200 mil	140.225	0,67	0,16	0,83
200 e 500mil	305.548	0,75	0,18	0,93
500 e 1000mil	699.095	0,92	0,24	1,16
> 1.000mil	2.645.332	0,98	0,28	1,26

Fonte dos dados brutos: IBGE, PNSB 2000.

**d) Composição de preços dos serviços (transporte, transbordo e aterro sanitário).**

Os dados utilizados para a composição dos preços de operação dos serviços foram oriundos das planilhas de composição de custos do DER, considerando serviços prestados por empresa privada, com previsão de BDI em 35%.

**e) Bacias hidrográficas nível 3 – Método Otto Pfafstetter.**

O mapeamento das bacias hidrográficas existentes no Estado foi realizado com a finalidade de detectar caminhos preferencialmente em declive para a execução do transporte regional de RSU. Além disso, quanto maior a concordância entre as áreas das bacias hidrográficas e as áreas de cada região, mais próximas estarão as ações dos consórcios regionais do planejamento dos comitês de bacias hidrográficas. O levantamento utilizado foi baseado no método desenvolvido pelo engenheiro Otto Pfafstetter para a subdivisão e codificação de bacias hidrográficas, que ficou conhecido como Ottobacias, sendo utilizado o nível 3 de divisão. As informações foram analisadas com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do software ArcGIS/Esri.

### 2.3. Composição dos Preços Unitários de Operação dos Sistemas Regionais

A seguir, encontra-se a descrição de como foi realizada a composição dos preços de operação para os aterros sanitários regionais, estações de transbordo e transporte regional de RSU.

**a) Custos operacionais do aterro sanitário**

É extremamente difícil definir valores médios para os custos de operação de um aterro sanitário. Entretanto, pode-se afirmar que um dos mais importantes elementos de custo refere-se aos tratores de esteiras, indispensáveis para realização da maior parte das atividades operacionais do aterro, com o auxílio eventual de outros equipamentos de terraplanagem.

É o trator de esteiras com lâmina adaptada (maior) para o baixo peso específico dos RSU em comparação com qualquer tipo de solo, que empurra e faz a compactação ao mesmo tempo, e também executa as operações de cobertura das células com solo. Ele também é utilizado para remover pequenas elevações do terreno, cortar barrancos, abrir vias de acesso, desatolar veículos, etc. (BRETAS, 2000). Existem no mercado brasileiro tratores de esteira de várias potências e pesos, que deverão ser estudados.

É possível operar aterros sanitários de portes pequenos e médios com tratores de esteira de peso operacional baixo, da ordem de 08 toneladas, do tipo D4 - Caterpillar ou equivalente, cujo custo de operação é considerado inferior ao dos tratores de peso médio. Entretanto, tal alternativa irá exigir um controle muito mais rigoroso do processo de compactação dos RSU a dispor, sob pena de comprometer grandemente a vida útil do aterro, torná-lo mais susceptível à penetração de águas pluviais e à fuga de gases, prejudicando sua estabilidade, intensificando a produção de chorume e reduzindo a exploração econômica do metano.

Como a situação pretendida no projeto exige a construção de aterros muito seguros e com máximo aproveitamento econômico, a nossa análise partiu do uso de tratores tipo D6 - Caterpillar, ou similar, com peso operacional da ordem de 17 toneladas. O trator tipo D6 possui capacidade teórica de trabalhar 70 toneladas de RSU por hora útil de serviço, ou seja, hora efetiva de operação para formação das células.



De forma análoga, outros equipamentos necessários à operação do aterro sanitário foram estudados, como por exemplo:

- Carregadeira de Pneus / Pá Carregadeira / Pá Mecânica;
- Veículo utilitário leve (1)
- Caminhão Basculante de 5m³;
- Comboio de lubrificação
- Caminhão pipa
- Retroescavadeira;
- Automóvel, etc.

A mão-de-obra empregada nas diversas operações a serem implantadas foi dimensionada para garantir o funcionamento do sistema, ao encontro dos benefícios da escala projetada. Assim, algumas atividades poderão ser executadas em turnos de trabalho (as operacionais), enquanto outras deverão seguir um regime de horário administrativo. A Tabela 2 exemplifica um levantamento da mão-de-obra necessária para a operação do aterro sanitário.

**Tabela 2 – Mão-de-obra para operação dos aterros sanitários**

Por turno		Horário Administrativo	
Quantidade por turno	Especificação	Quantidade	Especificação
01	Auxiliar de serviços gerais	01	Engenheiro
01	Balanceiro	01	Auxiliar administrativo
01	Encarregado	01	Motorista veículo leve
02	Operador de máquinas pesadas	*	*
01	Motorista de caminhão	*	*
01	Vigia noturno	*	*

Obviamente, a quantidade de profissionais, principalmente os operacionais, irá depender muito da dimensão do aterro, do número de equipamentos e veículos em operação simultânea, e, ainda, do regime de funcionamento (12 ou 24 horas/dia, exceto domingos).

Para a manutenção do aterro sanitário foram considerados os custos relativos ao monitoramento ambiental e geotécnico (análise da estabilidade de taludes), manutenção das instalações prediais, tratamento do chorume, expansão das drenagens de gases e de chorume, fechamento das células (revegetação e paisagismo) e monitoramento ambiental após o fechamento do aterro.

Os índices operacionais considerados na composição dos preços unitários de operação dos aterros sanitários encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3 – Índices utilizados na composição dos preços de operação dos aterros sanitários**

Índice	Valor
Rendimento do trator de esteira no espalhamento e compactação do lixo	70 t/h
Espessura da camada de RSU no aterro	1,0 m
Espessura da camada de cobertura de RSU	0,3 m
Peso específico dos RSU sem compactação	0,25 t/m <sup>3</sup> (ou 4,0 m <sup>3</sup> /t)
Taxa de compactação dos RSU	2,5:1
Rendimento da Retro-Pá na escavação da jazida	75 m <sup>3</sup> /h
Distância da jazida à célula do aterro sanitário (ida e volta)	5 km
Tempo de viagem do veículo caçamba (capacidade de 5,0 m <sup>3</sup> ) para carregamento, transporte e descarregamento de solo na célula do aterro	30 min

**b) Custos operacionais das estações de transbordo**

As estações de transbordo também precisam ser estudadas e dimensionadas sob a ótica da economia de escala. Na elaboração da composição de preços, foram consideradas estações de simples transferência, nas quais o caminhão coletor transfere os RSU diretamente para os caminhões com maior capacidade de carga (caixas de roll on - roll off), sem fosso para acumulação dos RSU. Também foi considerado que os RSU não receberão nenhum tipo de tratamento (compactação) antes de serem destinados ao aterro sanitário.

A mão-de-obra considerada para a operação das estações de transbordo encontra-se descrita na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4 – Mão-de-obra para operação das estações de transbordo**

Por turno		Horário Administrativo	
Quantidade por turno	Especificação	Quantidade	Especificação
01	Operador de equipamento (balança)	01	Encarregado
01	Vigia	01	Auxiliar de serviços gerais

Na manutenção das estações de transbordo foram consideradas as despesas com monitoramento ambiental, manutenção das instalações prediais e a troca periódica das caçambas estacionárias. O número de caçambas irá depender da quantidade de RSU que a estação de transbordo receberá e da capacidade de armazenamento das caçambas estacionárias.

**c) Custos nos Transportes Intra Sistema.**

Existem vários tipos e capacidades de veículos apropriados ao transporte de RSU, com e sem dispositivo de compactação. A escolha do veículo certo para cada situação influencia positivamente nos custos e preços das operações.

Foram avaliados os custos de transporte para as operações consorciadas (transporte de RSU das estações de transbordo até o aterro sanitário), bem como das operações satélite realizadas individualmente por cada município (transporte de RSU da sede municipal até a estação de transbordo ou, analogamente, até o aterro sanitário).

Com o auxílio da equipe técnica do DER/ES, foram elaboradas fórmulas de custos unitários para de transporte para os seguintes tipos de veículo:

- Caminhão compactador com capacidade de 07 toneladas ou 10m<sup>3</sup> de RSU compactados (utilizado para o transporte satélite);
- Caminhões Roll-on/Roll-off com capacidade de 12 t, chassi trucado – 3 eixos, sendo cada veículo operando com dois ou mais contêineres (utilizado para o transporte de RSU no consórcio).





Há ainda possibilidade de utilização do sistema Romeu e Julieta (reboque de mesma capacidade), porém este veículo não foi objeto do Estudo de Regionalização, podendo ser contemplado nos estudos e projetos executivos que serão contratados.

A partir da definição dos preços unitários de cada tipo de veículo, foram feitas diversas simulações para determinar o preço das operações de transporte consorciadas e satélites. Os ensaios buscaram estabelecer um equilíbrio entre o ganho de escala no aterro e as menores distâncias possíveis de transporte.

### 3. RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

#### 3.1. Composição dos Preços Unitários de Operação dos Sistemas Regionais

##### a) Custos operacionais do aterro sanitário

O primeiro passo para o desenvolvimento do Estudo de Regionalização foi a realização da composição dos custos de operação para aterros sanitários de diferentes portes, com o objetivo de identificar a quantidade mínima de RSU, expressa em t/dia, que irá tornar empreendimento economicamente viável.

Os cálculos demonstraram viabilidade para quantidades superiores a 200 t/dia de RSU. O gráfico da Figura 2 demonstra o impacto da escala nos custos de operação dos aterros sanitários. Observa-se que o preço do serviço tende a diminuir e se estabilizar a partir de 300 t/dia.

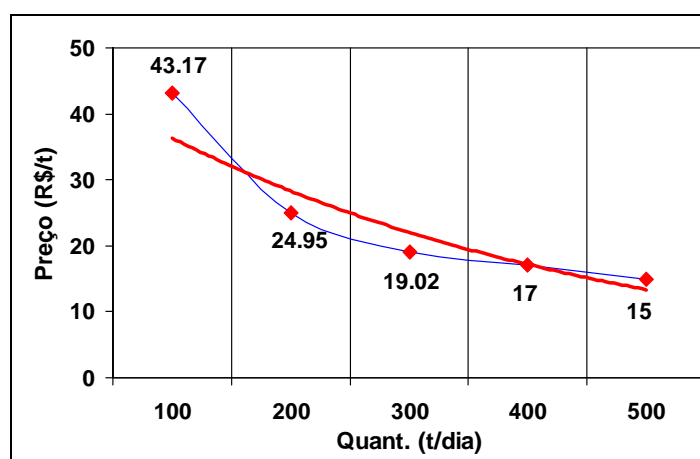


Figura 2 – Tendência de preços para aterros sanitários em função da quantidade de RSU

A Tabela 6 apresenta o preço mensal e o preço unitário resultante da composição de custos para aterros sanitários com capacidade para 100 t/dia, 200 t/dia e 300 t/dia, sendo considerados os custos relativos a veículos e equipamentos, manutenção e mão-de-obra. O ganho de escala fica claro, especialmente quando se compara o preço unitário para os diferentes portes de aterro sanitário.

Tabela 6 – Preço mensal e unitário para aterros sanitários

Item	Valores mensais com BDI (35%)		
	100 t/dia ou 3.000 t/mês	200 t/dia ou 6.000 t/mês	300 t/dia ou 9.000 t/mês
Veículos e Equipamentos	63.935,79	83.451,18	104.236,49
Mão de obra	39.267,97	39.267,97	39.267,97
Monitoramento ambiental	26.301,38	26.976,38	27.651,38
<b>Preço Mensal (R\$/mês)</b>	<b>129.505,14</b>	<b>149.695,53</b>	<b>171.155,84</b>
<b>Preço Unitário (R\$/t)</b>	<b>43,17</b>	<b>24,95</b>	<b>19,02</b>

Data base: Janeiro – 2008

### b) Custos operacionais das estações de transbordo

A Tabela 7 apresenta o preço mensal e o preço unitário resultante da composição de custos para estações de transbordo com capacidade para 50 t/dia, 100 t/dia e 150 t/dia, sendo considerados os custos relativos a veículos e equipamentos, manutenção e mão-de-obra. O ganho de escala também fica evidente para as estações de transbordo.

**Tabela 7 – Preço mensal e unitário para estações de transbordo**

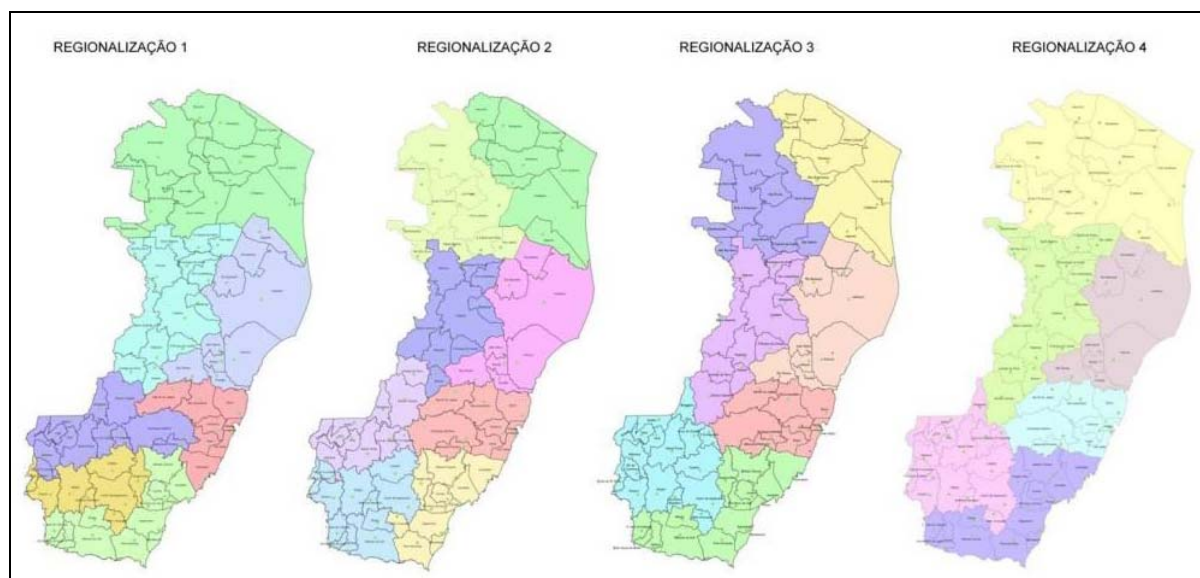
Item	Valores mensais com BDI		
	50 t/dia ou 1500 t/mês	100 t/dia ou 3.000 t/mês	150 t/dia ou 4.500 t/mês
Veículos e Equipamentos	0,00	0,00	0,00
Mão de obra	11.024,77	11.024,77	13.645,45
Manutenção da área de transbordo	2.756,25	3.037,50	3.870,00
<b>Custo Mensal (R\$/mês)</b>	<b>13.781,02</b>	<b>14.062,27</b>	<b>17.515,45</b>
<b>Custo Unitário (R\$/ton.)</b>	<b>9,19</b>	<b>4,69</b>	<b>3,89</b>

Data base: Janeiro - 2008

### 3.2. Simulações de Regionalização Estudadas

Após a definição da quantidade mínima de RSU com a qual o sistema regional deverá operar, ou seja, 200 t/dia, foram feitas 4 simulações considerando: (a) a produção de RSU em cada município em 2010, ano de início de funcionamento dos sistemas regionais, (b) os custos de transporte de RSU referentes às operações satélite e consorciadas e (c) os custos de operação do aterro sanitário e das estações de transbordo.

As propostas de regionalização obtidas nas simulações realizadas encontram-se na Figura 3.



**Figura 3 – Propostas de Regionalização Estudadas**

A Tabela 8 descreve os custos mensais totais de operação obtidos para cada uma das propostas de regionalização apresentadas na Figura 3.

**Tabela 8 – Propostas de Regionalização Estudadas (Figura 3)**

Regionalização	Número de Regiões	Preço mensal da operação (R\$)*
1	07	2.061.074,94
2	08	2.201.288,77
3	07	2.271.671,27
4	06	2.240.097,19

\* Não foi considerado o custo da Região Metropolitana apontada no estudo.

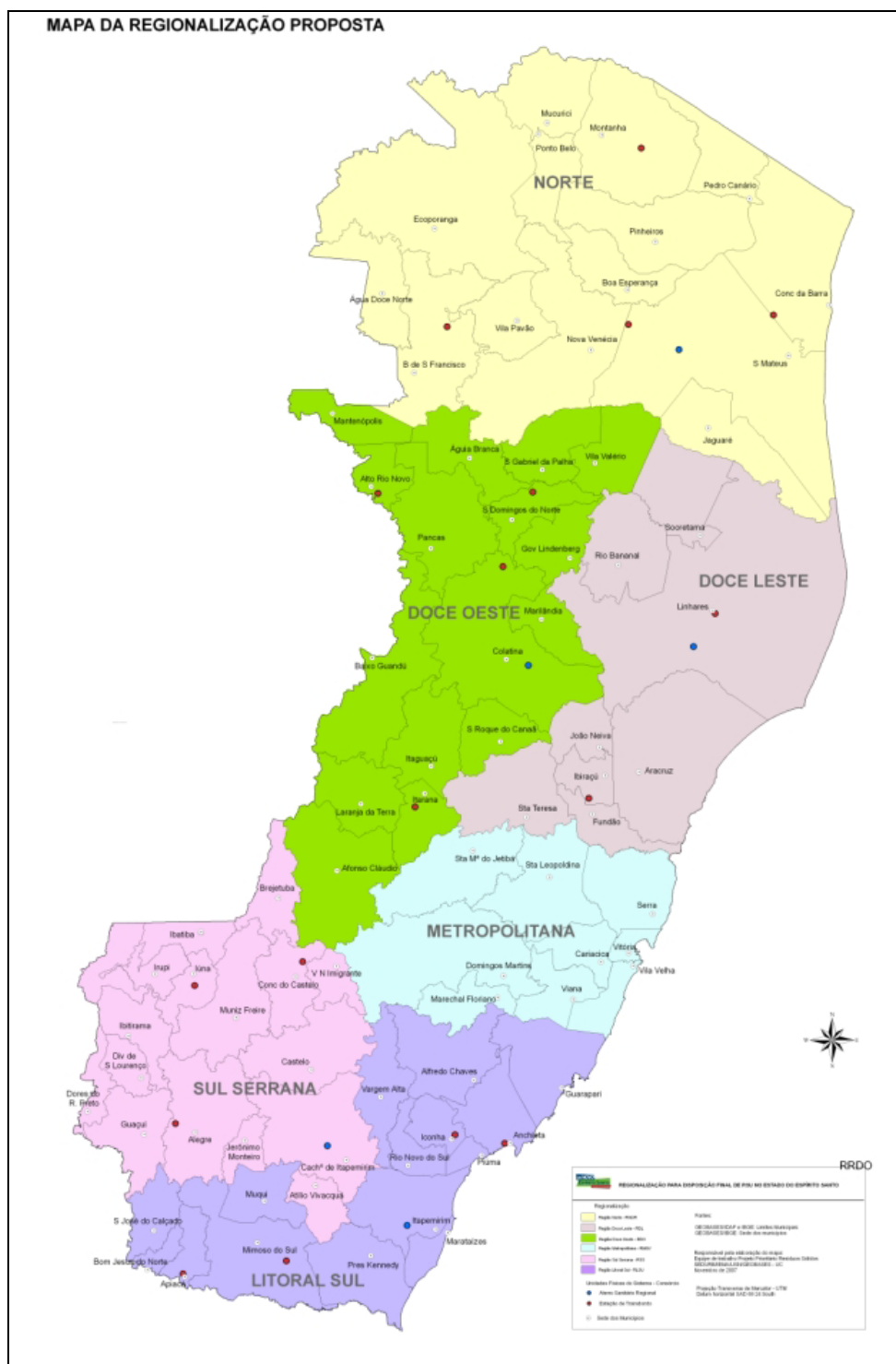
A Regionalização adotada como melhor alternativa foi a Regionalização 04. Apesar de não possuir o menor custo de operação, ela apresentou outros aspectos favoráveis, que foram:

- Menor número de regiões – racionalização de esforços, com menor número de desapropriações;
- Menor número de aterros sanitários - melhores escalas econômicas, maior atratividade para participação do setor privado;
- Melhor distribuição – regiões mais proporcionais em relação ao número de municípios;
- Territórios das regiões formadas, incluídos nos territórios de uma ou mais bacias hidrográficas (unidades de planejamento, existência de comitês gestores)

### 3.3. Mapa da Regionalização da Destinação Final de RSU

Os estudos culminaram com a delimitação de 06 regiões, dentre as quais duas, a Metropolitana e a Doce Leste, não foram consideradas prioritárias por já estarem sendo atendidas por soluções de mercado (aterros sanitários privados existentes).

A Figura 4 apresenta o mapa da regionalização obtido.



**Figura 4 – Mapa da Regionalização Adotada**

Assim, dos 78 municípios capixabas, os estudos identificaram que 61 ainda não vêm destinando adequadamente seus resíduos sólidos urbanos, seja no aspecto ambiental ou econômico, motivo pelo qual passam a representar o centro de atenção do projeto em pauta. Estes municípios foram agrupados em quatro regiões distintas, conforme a Tabela 9 a seguir.

**Tabela 9 – Descrição dos municípios por região determinada no Estudo de Regionalização**

Região	Municípios
Região Norte (14 municípios)	Ecoporanga, Mucurici, Montanha, Ponto Belo, Pedro Canário, Pinheiros, Água Doce do Norte, Boa Esperança, Conceição da Barra, Vila Pavão, Barra de São Francisco, Nova Venécia, São Mateus e Jaguaré.
Região Doce Oeste (16 municípios)	Mantenópolis, Águia Branca, São Gabriel da Palha, Vila Valério, Alto Rio Novo, Pancas, São Domingos do Norte, Governador Lindenberg, Colatina, Marilândia, Baixo Guandu, Itaguaçu, São Roque do Canaã, Laranja da Terra, Itarana e Afonso Cláudio.
Região Litoral Sul (15 municípios)	Vargem Alta, Alfredo Chaves, Guarapari, Anchieta, Iconha, Rio Novo do Sul, Piúma, Itapemirim, Marataízes, Presidente Kennedy, Mimoso do Sul, Muqui, São José do Calçado, Bom Jesus do Norte e Apiacá.
Região Sul Serrana (16 municípios)	Brejetuba, Ibatiba, Irupi, Iúna, Conceição do Castelo, Venda Nova do Imigrante, Muniz Freire, Ibitirama, Divino de São Lourenço, Castelo, Dorcas do Rio Preto, Guaçuí, Alegre, Jerônimo Monteiro, Cachoeiro de Itapemirim e Atílio Vivácqua.

Os trabalhos preliminares conduzidos dentro do processo de regionalização indicaram as organizações dos sistemas regionais, conforme demarcações das estações de transbordo, dos aterros sanitários e da logística de transportes esquematicamente representadas na Figura 5.



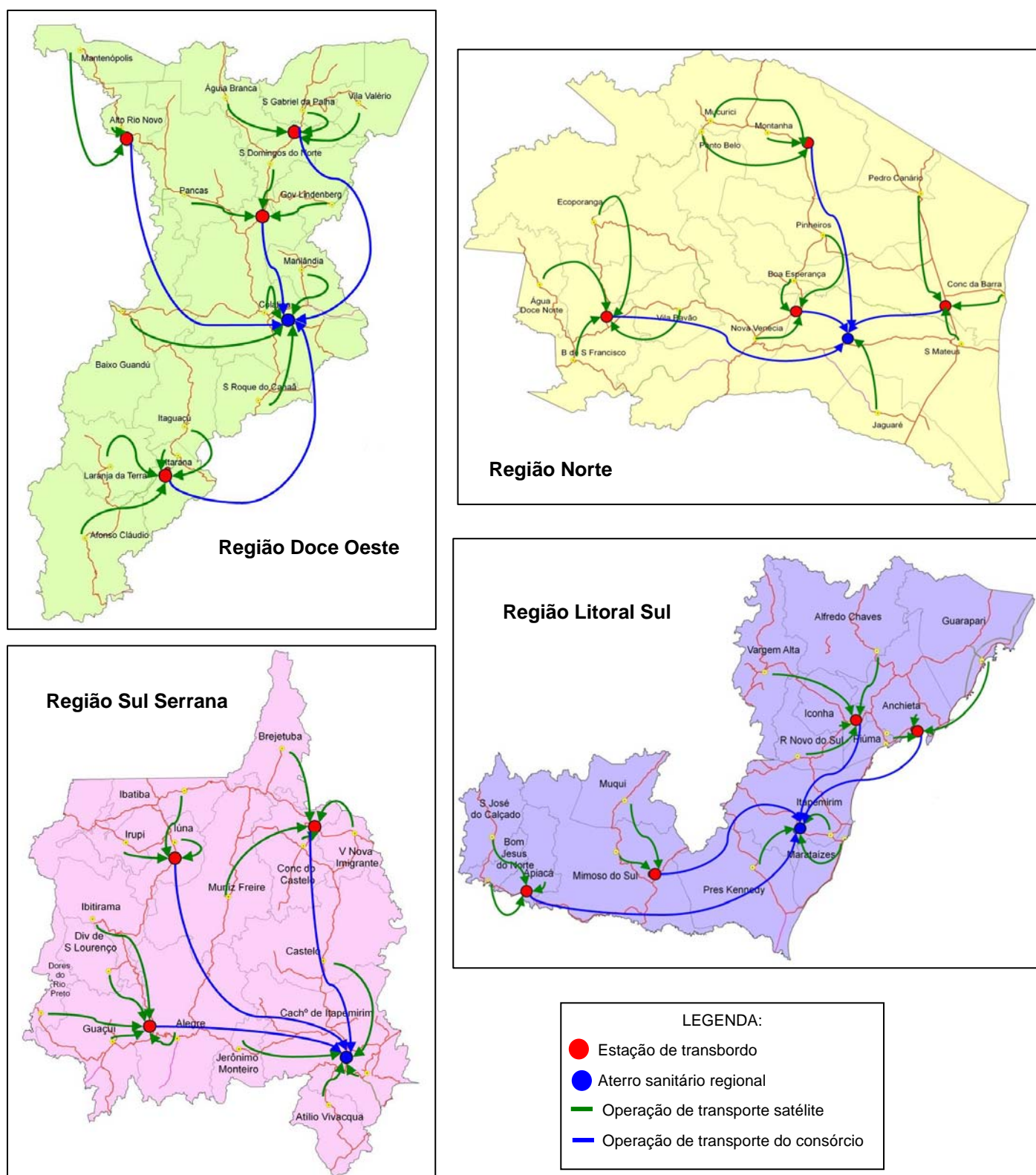


Figura 5 – Localização das estações de transbordo e dos aterros sanitários





A Tabela 10 apresenta um resumo dos resultados obtidos em cada uma das regiões. Nela podem ser observados vários parâmetros por região: número de municípios, quantidade de RSU, preço das operações consorciadas (transbordos, transporte regional e aterro sanitário regional), preço das operações consorciadas por habitante, impacto do preço das operações consorciadas na receita municipal, preço médio das operações satélites e o preço médio total (operações consorciadas + operações satélites).

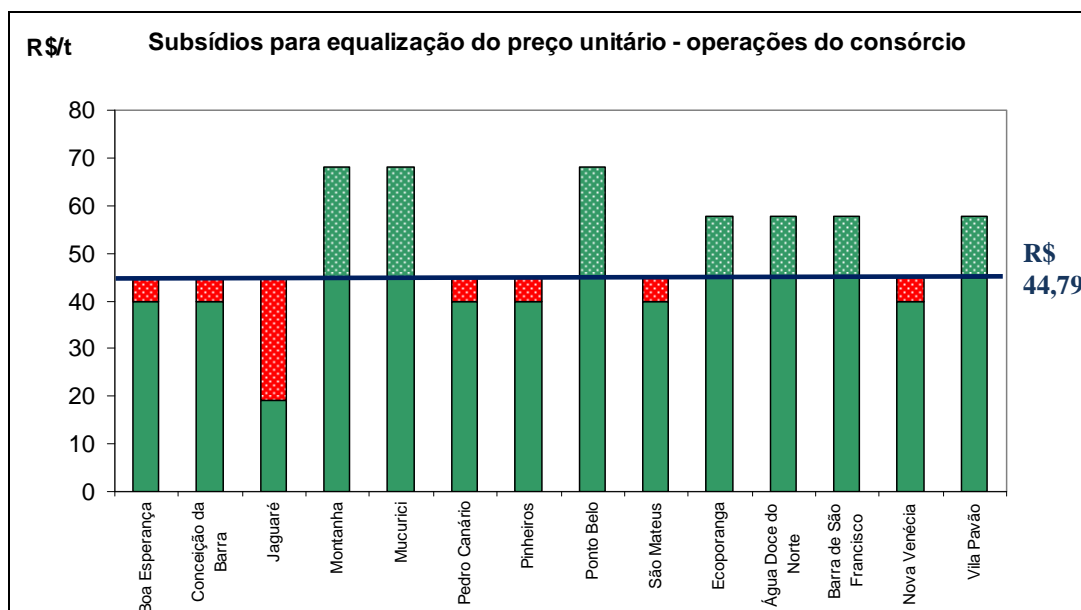
**Tabela 10 - Resumo dos Resultados Obtidos por Região**

Região	Quantidade de RSU (t/dia-2010)	Preço operações consórcio (R\$/t)	Preço per capita consórcio (R\$/hab.mês)	Impacto na receita municipal (%)	Preço médio operações satélite (R\$/t)	Preço médio total (R\$/t)
NORTE (14 Municípios)	320	44,79	1,12 (1,03 - 1,16)	1,07 (0,62 - 1,29)	13,09 (5,45 - 20,54)	<b>57,88</b>
DOCE OESTE (16 Municípios)	288	38,06	0,92 (0,88 - 1,15)	0,91 (0,71 - 1,34)	12,83 (1,49 - 26,19)	<b>50,89</b>
SUL SERRANA (16 Municípios)	400	31,77	0,79 (0,73 - 0,96)	0,84 (0,53 - 1,61)	9,87 (1,49 - 21,48)	<b>41,64</b>
LITORAL SUL (15 Municípios)	320	39,90	0,97 (0,92 - 1,03)	0,98 (0,39 - 1,79)	8,77 (0,50 - 24,16)	<b>48,67</b>

Os principais pontos a serem observados na Tabela 10 são:

- A quantidade de resíduos em todas as regiões foi superior ao mínimo estabelecido para a viabilidade de escala do aterro sanitário (> 200 t/dia de resíduos sólidos urbanos);
- Os preços das operações consorciadas em todas as regiões ficaram inferiores aos que são atualmente praticados no mercado;
- O impacto na receita municipal das operações consorciadas é pequeno, da ordem de 1%;
- O preço das operações satélites varia significativamente de um município para outro, pois depende da distância da sede municipal até a estação de transbordo mais próxima. Porém, o número de estações de transbordo e suas respectivas localizações deverão ser aperfeiçoados nos projetos executivos, reduzindo o preço das operações satélites;
- Os preços médios totais projetados (operações consorciadas + operações satélites) são inferiores aos valores atualmente praticados pelas empresas no Espírito Santo, que variam de R\$ 70,00/t a R\$ 150,00/t.

O gráfico da Figura 06 exemplifica a equalização do preço unitário (preço por tonelada de resíduo) entre os municípios da Região Norte.



**Figura 06 - Equalização de benefícios entre os municípios da Região Norte**

As colunas verdes, tanto acima quanto abaixo da linha azul, correspondem ao custo operacional do sistema regional sem a adoção do subsídio. O preço subsidiado é correspondente à linha azul, ou seja, R\$ 44,79. A hachura vermelha significa quanto deverá ser pago por alguns municípios para atingir o preço subsidiado. Por outro lado, a hachura verde significa a queda nos preços dos demais municípios para chegar até o valor subsidiado.

Aqueles municípios próximos do aterro sanitário, como Boa Esperança, São Mateus e Jaguaré, têm menores custos com transporte e, portanto, o custo das operações consorciadas sem subsídio é menor. No caso de Jaguaré, a proximidade levou a equipe técnica a dispensar, inclusive, a estação de transbordo, fazendo com que o custo sem subsídio fosse ainda menor.

Entretanto, para os municípios mais distantes do aterro sanitário o custo com transporte se torna oneroso, daí a necessidade de adoção do subsídio cruzado. Em compensação, a participação dos municípios mais distantes na composição do sistema regional é que proporciona o ganho de escala e que faz o preço operacional do aterro sanitário ficar menor.

No fim, os municípios mais distantes do aterro sanitário contribuem para o ganho de escala do sistema, tornando menor o seu custo operacional e, por outro lado, são subsidiados pelos municípios situados mais próximos do aterro sanitário, que sozinhos não alcançariam a escala adequada para o aterro. Todos ganham com a divisão proporcional e solidária das despesas.

O procedimento para a adoção de subsídios foi adotado para todas as regiões priorizadas no projeto (Norte, Doce Oeste, Sul Serrana e Litoral Sul).

#### 4. AGRADECIMENTOS

A Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano agradece a todos os Órgãos que contribuíram para a realização deste estudo:

- Secretaria de Estado Extraordinária de Gerenciamento de Projetos – SEGEP;
- Sistema de Integrado de Bases Georeferenciadas do Espírito Santo – GEOBASES – Unidade Central;
- Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN;
- Companhia Espírito Santense de Saneamento – CESAN;
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo – DER e
- Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA.



## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BRETAS, A. L. Planejamento, Custos e Preços em Atividades de Limpeza Urbana. In: VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – Associação Brasileira de Limpeza Pública – ABLP. Curitiba, 2000.
2. BROWN, Lester. Nova York: Capital Mundial do Lixo. 2007. Disponível em: <http://www.worldwatch.org.br/artigos.html>.
3. CANTANHEDE, Álvaro. Lixo é um Desafio para Todos os Países da América Latina. 2007. Disponível em: <http://www.ecoproducers.com/magazine>.
4. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB. 2000. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).