

# **Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019**

Marcos H. F. Vital  
Martin Ingouville  
Marco Aurélio Cabral Pinto

## **Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019**

Marcos H. F. Vital  
Martin Ingouville  
Marco Aurélio Cabral Pinto\*

### **Resumo**

O presente artigo analisa a política nacional para resíduos sólidos urbanos (RSU) residenciais nos municípios brasileiros, estimando-se o investimento necessário para a disposição final adequada (em aterros sanitários). Para tanto, foram realizadas estimativas para atingir uma das metas previstas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos: a extinção de lixões até agosto de 2014.<sup>1</sup> Conforme se pôde concluir, serão necessários recursos na ordem de R\$ 2,5 bilhões para constituição de infraestrutura de aterros sanitários que atendam ao desafio de erradicar os vazadouros a céu aberto (lixões) e os aterros controlados no Brasil.

---

\* Respectivamente, economista e engenheiro do Departamento de Meio Ambiente da Área de Meio Ambiente do BNDES; e engenheiro do Departamento de Gestão Pública da Área de Infraestrutura Social do BNDES. Colaboraram com o trabalho: Ana Elisa F. Vital, Odette Lima Campos, Raphael Duarte Stein, Guilherme Martins, Marcos Ferran, José Guilherme Cardoso, Gabriel Rangel Visconti e Thaise Nunes.

<sup>1</sup> Na data de publicação do presente artigo, ainda não se havia cumprido a referida meta.

## Introdução

A **disposição inadequada de RSU** pode gerar tanto custos sociais quanto privados. No Brasil, alagamentos causados pela conjunção mudanças climáticas/disposição inadequada de resíduos afetam tanto consumidores quanto empresas – quando de danos em infraestrutura capazes de comprometer o escoamento da produção ou o funcionamento do comércio.

Desde 2010, o país enfrenta o desafio de implementação planejada de sistemas de coleta, seleção, tratamento e disposição adequada de RSU domiciliares, comerciais e industriais. O desafio tem sido enfrentado com o estabelecimento de marcos regulatórios e com compartilhamento de responsabilidade entre os entes federativos e a sociedade organizada.

A Lei 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que imputa **responsabilidades compartilhadas** pela gestão integrada e pelo gerenciamento dos resíduos sólidos (incluindo os perigosos) aos geradores de resíduos, ao poder público (União, estados e municípios) e aos instrumentos econômicos aplicáveis. A referida lei foi regulamentada pelo Decreto 7.404/10, que estabelece normas e procedimentos para sua implementação, incluindo a obrigatoriedade de elaboração de planos municipais e estaduais de gerenciamento de RSU, assim como de Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Para implementação dos termos previstos na lei, foi estabelecido comitê interministerial com atribuições de planejamento e gestão.

Em 2011, elaborou-se, em versão preliminar, o **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. O plano aborda diagnóstico da situação recente da geração, coleta, tratamento e disposição de resíduos no país, metas quantitativas e as respectivas ações necessárias para atingi-las, assim como diferentes cenários institucionais. Dentre as metas da PNRS, destacam-se:

- i) **extinção dos lixões** a céu aberto até 2014;
- ii) **redução em até 70% dos resíduos recicláveis** ou reutilizáveis dispostos em aterros;
- iii) **redução na geração de lixo de 1,1 kg/hab./dia para 0,6 kg/hab./dia**; e
- iv) **inserção de 600 mil catadores**.

Pretende-se, no presente trabalho, estimar o montante de investimentos necessários para que o país construa, entre 2015 e 2019, parque nacional

de aterros sanitários capaz de receber a quantidade de RSU ainda disposta de modo inadequado no ano de 2012.

Para cumprir esse objetivo, depois desta introdução, o artigo está estruturado em mais quatro seções. Na próxima seção, examina-se a PNRS. A terceira expõe e analisa diagnóstico da situação dos RSU no Brasil, com a finalidade de obtenção de parâmetros necessários para aplicação no modelo de estimativa de investimentos proposto. A lógica que permeia as estimativas bem como a análise dos resultados são apresentadas na quarta seção. As conclusões e propostas compõem a quinta seção.

## A Política Nacional de Resíduos Sólidos

A PNRS reúne conjunto de **(i) princípios; (ii) objetivos; (iii) instrumentos; (iv) diretrizes; (v) metas; e (vi) ações** com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos no Brasil.

### Princípios

#### *Prevenção e precaução*

Os princípios de prevenção e precaução induzem o poder público e a coletividade a agir de modo a evitar ou prevenir a ocorrência de ações dolosas para a sociedade. Em seu livro *Direito Ambiental Brasileiro*, Rehbinder define o princípio da precaução como:

(...) o princípio da precaução reflete o conhecimento de que as atividades humanas tendo um impacto sobre o ambiente, muitas vezes têm consequências negativas que não podem ser completamente previsíveis ou verificáveis antes da ação. Em sua aplicação, o princípio da precaução requer que uma ação não deva ser executada se ela coloca um risco desconhecido de dano. Procedimentalmente, o princípio da precaução impõe, sobre aqueles que desejam empreender uma ação, o ônus da prova de que ela não prejudicará o ambiente [Rehbinder *apud* Wolfrum (2004, p. 28)].

#### *Poluidor-pagador e protetor-recebedor*

Enquanto o princípio do **poluidor-pagador** pode ser encontrado em diferentes normativos brasileiros de cunho ambiental, o princípio do **protetor-recebedor** é relativamente novo. Conforme é possível inferir, tais princípios têm como objetivos imputar penalidades aos poluidores do meio

ambiente e incentivar os agentes econômicos que atuem de modo contrário – premiando quem conserva e protege o ecossistema em que se insere. Para implementar tais princípios, a Lei de Crimes Ambientais foi alterada para incluir novas infrações e penalidades. No caso do protetor-recebedor, prevê-se, por exemplo, a possibilidade de descontos em impostos como o Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU).

### *Desenvolvimento sustentável*

Outro princípio que norteia a PNRS é o de **desenvolvimento sustentável**. De acordo com UN (1987), o desenvolvimento econômico de uma dada nação pode ser dito “sustentável” (ao longo do tempo) se o uso de recursos no presente para atender às “necessidades do presente” não compromete a disponibilidade de recursos para que outras gerações satisfaçam suas “necessidades no futuro”.<sup>2</sup>

O reaproveitamento dos RSU apresenta relação direta com o crescimento econômico e com o conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que o uso econômico dos RSU recicláveis reduz as pressões sobre matérias-primas específicas – como papel e papelão (intensivos em terra e água) e petróleo e nafta (emissores de CO<sub>2</sub>).

### *Responsabilidade compartilhada*

Um dos pilares da PNRS é o da **responsabilidade compartilhada** entre consumidores, comerciantes e distribuidores, fabricantes, importadores e o poder público sobre a gestão do ciclo de vida dos produtos, ou seja, do retorno de parte dos produtos recicláveis para o sistema de produção e/ou da disposição adequada/tratamento de resíduos. **O princípio está em linha com as melhores práticas internacionais, mas seu êxito depende de mudanças significativas na cultura de como entender, tratar e relacionar-se com os resíduos.**

Os **sistemas de logística reversa**<sup>3</sup> são a materialização do princípio da responsabilidade compartilhada, por meio do qual os agentes econômicos (fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares de serviços públicos de limpeza e manejo) definem seus papéis

<sup>2</sup> “Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” [UN (1987)].

<sup>3</sup> Sistemas de logística reversa são bastante complexos, contemplando, de modo genérico: (i) sistemas de coleta seletiva ou postos de coleta; (ii) estações de transbordo e/ou triagem; (iii) reutilização/reciclagem; (iv) tratamento e disposição ambientalmente adequada dos resíduos.

em cada etapa do ciclo de vida do produto, desde a fabricação até a destinação adequada dos resíduos. Vale notar que, de acordo com a referida lei, os sistemas de logística reversa são obrigatórios para os seguintes setores: (i) **agrotóxicos, seus resíduos e embalagens**; (ii) **pilhas e baterias**; (iii) **pneus**; (iv) **óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens**; (v) **lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista**; (vi) **produtos eletroeletrônicos**.

Enquanto alguns setores, por já possuírem legislação específica anterior à Lei 12.305/10, apresentam sistemas de logística reversa mais evoluídos (óleos lubrificantes usados e contaminados, embalagens de agrotóxicos e pneus inservíveis, por exemplo), outros setores ainda possuem acordos setoriais em fase de elaboração ou apreciação pela sociedade civil organizada (eletroeletrônicos, pilhas e baterias e lâmpadas mercuriais) – através da submissão a audiências públicas ou mesmo a normativos federais específicos.<sup>4</sup>

Dessa forma, os produtos citados na lei e mencionados no texto não constituem conjunto exaustivo, finito ou estático. Outrossim, o desenvolvimento tecnológico das nações (com viés em elevado ritmo de inovações de produto, notoriamente, em bens de consumo)<sup>5</sup> e a diversificação dos produtos fabricados imputam **caráter dinâmico** às questões associadas à fabricação, ao consumo e ao descarte de produtos.

### *Reutilização e reciclagem*

O **reconhecimento do resíduo sólido reutilizável como bem econômico** abre oportunidades industriais, comerciais e financeiras na exploração de todas as etapas, desde a produção até a reabsorção pela natureza, incluindo o duplo caráter (social e econômico) da participação dos catadores e de sua inclusão nos sistemas de logística reversa, qual seja: a geração de empregos formais e renda.

O conjunto de todos os princípios que norteiam a Lei 12.305/10 encontram-se no Anexo II.

### **Objetivos e diretrizes**

Constam da PNRS mais de 15 objetivos (e diretrizes), enunciados no Anexo III, dos quais se destacam os explicitados a seguir.

<sup>4</sup> O Ministério do Meio Ambiente fará a avaliação das propostas de acordo setorial apresentadas.

<sup>5</sup> Vale notar a dinâmica associada à indústria e ao mercado de produtos eletroeletrônicos.

### *Proteção à saúde pública*

A disposição inadequada de RSU no país tem gerado bolsões de miséria e favelas ao redor dos lixões (vazadouros a céu aberto), com subsequentes problemas de saúde pública, valendo citar: náuseas, irritação nas narinas, problemas pulmonares e até mesmo câncer por exposição ao metano oriundo da decomposição do lixo orgânico. Dada a variabilidade das concentrações de metais pesados e outras substâncias no chorume,<sup>6</sup> os efeitos são diferenciados, sendo consenso que idosos, crianças e gestantes são a população mais atingida.

Muito do que se denomina, atualmente, de “**doenças negligenciadas**”<sup>7</sup> (doença de Chagas, doença do sono, leishmanioses, malária, febre amarela, tuberculose, entre outras) também pode ter sua origem no tratamento inadequado do lixo.

### *Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento e disposição adequados de resíduos sólidos urbanos*

A redução da geração de resíduos pode ser atingida de diferentes formas. Uma delas é reduzir o consumo de bens e serviços. Isso remonta questões sociológicas relacionadas ao consumo de massa e ao conceito explícito de crescimento da produção e da riqueza material como sinônimo de desenvolvimento das sociedades. Sob tal paradigma, uma vez que o consumo é importante *driver* da demanda agregada de curto e longo prazos, mantendo-se todo o restante constante, a filosofia da não geração pode ter efeitos recessivos.

### *Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo*

Outra forma de se reduzir a geração de RSU é através da alteração dos sistemas de produção industriais, de modo a aumentar a eficiência do uso de materiais. Para que a produção continue a crescer sem que haja pressão sobre o uso de matérias-primas acima de seu nível intertemporal ótimo (nível de consumo presente que possibilita a produção e o consumo futuros), são necessárias inovações tecnológicas que permitam o mesmo nível

<sup>6</sup> Líquido escuro, de odor desagradável e altamente poluente que escoar de massas de lixo orgânico ou de aterros sanitários, resultante da decomposição física, química e biológica de resíduos e da lixiviação por água das chuvas.

<sup>7</sup> O termo “doença negligenciada” data da década de 1970 e se refere a doenças causadas por agentes infecciosos e parasitários.

de produção e consumo com menor utilização de insumos (aumento na eficiência do uso dos recursos).

### *Adoção e aprimoramento de tecnologias limpas*

A PNRS cria espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias<sup>8</sup> que possam reduzir os impactos ambientais (uso de matérias-primas e tratamento dos rejeitos) dos processos de produção e consumo.

Vale notar que, do ponto de vista intertemporal, gastar menos com tratamento adequado de resíduos no presente significa gastar mais com saúde pública no futuro.

Nesse sentido, vale lembrar o conceito de *ecodesign*, no qual os processos e produtos são concebidos de forma a ter menor impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida. São exemplos: (i) redução na quantidade/volume de embalagens geradas por unidade de produto fabricado; (ii) utilização de tecnologias capazes de gerar produtos com maior grau de degradabilidade e absorção pelo meio ambiente<sup>9</sup>; (iii) utilização de materiais passíveis de serem reciclados; (iv) aumento da durabilidade dos produtos.<sup>10</sup>

Pode-se argumentar que não é parte do fenômeno inflacionário nacional a elevação dos custos de tratamento e disposição final, mas sim a internalização dos custos relacionados a coleta, transporte e tratamento adequados de resíduos, anteriormente ignorados. Vale notar que a sociedade já arca com tais custos, não na forma de uma parcela dos preços dos produtos, mas na forma de custos sociais e ambientais (externalidades negativas do processo de produção e consumo), como internações médicas e remediação de solos e corpos hídricos.

No que concerne a padrões de produção e consumo e geração e tratamento de resíduos sólidos, ressaltam-se os principais aprimoramentos capazes de resultar em impactos relevantes sobre as variáveis discutidas:

- i) metanização da fração orgânica do lixo;

<sup>8</sup> O termo “tecnologias limpas” refere-se a processos produtivos que se utilizem de menos matérias-primas, energia e outros materiais além de produzirem bens menos agressivos ao meio ambiente.

<sup>9</sup> O aprofundamento dos conceitos de economia ecológica pode ser encontrado em Ruth (1993).

<sup>10</sup> Entre fabricantes geradores de resíduos industriais, de um lado, e consumidores geradores de resíduos domiciliares urbanos, encontram-se empresas de gerenciamento de resíduos que terão a oportunidade de diversificar seu portfólio de tecnologias e oferecer serviços de valor agregado mais elevado.



- ii) implementação de sistemas de coleta seletiva;
- iii) triagem de resíduos;
- iv) processos de reciclagem e reutilização;
- v) combustíveis derivados de resíduos;
- vi) compostagem; e
- vii) coprocessamento.

### **Os planos de gerenciamento de resíduos sólidos**

Municípios e estados, assim como a União, devem elaborar planos de gerenciamento de resíduos, constando: (i) inventários de resíduos; (ii) passivos ambientais a serem remediados; (iii) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos; (iv) procedimentos operacionais; (v) soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores.

A elaboração dos planos permitirá o monitoramento e gestão estratégica dos resíduos, de acordo com o perfil (quantidade e qualidade) do resíduo gerado em cada município. O diagnóstico é importante para identificação das tecnologias e dos modelos de gestão a serem implementados.

#### *Responsabilidades da União: o Plano Nacional de Resíduos Sólidos*

Coube à União estabelecer o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que define os princípios e diretrizes que orientam os planos de resíduos dos estados e municípios e dos principais geradores industriais. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos apresenta, ainda, metas quantitativas a serem cumpridas, como a extinção dos lixões, que deveria ocorrer até agosto de 2014, por exemplo.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos foi inicialmente elaborado em 2011, com base em diagnóstico da situação dos RSU no Brasil desenvolvido por Ipea (2012). Em 2014, o plano encontra-se ainda em versão preliminar, datada de setembro de 2011, em análise para submissão e aprovação em audiência pública.

#### *Responsabilidades dos estados*

Os planos estaduais têm especial importância em aglomerados municipais e nas regiões metropolitanas. Considerando que a maioria dos municípios

brasileiros é de pequeno porte e têm limitada capacidade financeira e de recursos humanos para planejar e executar as ações necessárias para lidar com os seus resíduos sólidos, os estados têm a essencial função de articular os municípios de modo a criar soluções que permitam o compartilhamento e a minimização dos custos. Um bom exemplo é o que ocorreu em Minas Gerais, onde o governo estadual, em parceria com os municípios, desenvolveu um edital de concessão para os serviços de tratamento e disposição final de RSU que abrange a região metropolitana de Belo Horizonte, com exceção da própria capital.

### *Responsabilidades dos municípios*

É sobre os municípios, entretanto, que recai a maior responsabilidade, devido ao entendimento constitucional de que a geração de resíduos é uma problemática de âmbito local, sendo sua solução de competência municipal.

O problema se torna mais grave ao constatar-se que os municípios não contam com a arrecadação de receitas específicas para o gerenciamento dos resíduos (como é o caso da iluminação pública) e recorrem a seu orçamento ordinário. As soluções desenvolvidas têm sido a criação de empresas municipais de gerenciamento de resíduos e autarquias responsáveis por seu gerenciamento – são exemplos: Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (Comlurb/RJ);<sup>11</sup> Autoridade Municipal de Limpeza Urbana de São Paulo (Amlurb); Superintendência de Limpeza Urbana (SLU)/Belo Horizonte;<sup>12</sup> Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (Limpurb)/Salvador; Empresa de Limpeza Urbana do Recife (Emlurb); entre outras – e a concessão dos serviços de coleta, triagem (quando for viável) e disposição final. Apesar de a PNRS prever recursos federais para auxiliar os municípios a implantar suas soluções, o acesso a esses recursos dependia da elaboração, até agosto de 2012, dos planos municipais de gerenciamento de resíduos sólidos. Raros são os casos, porém, dos municípios que atenderam a essa obrigação legal.

### *Outros responsáveis*

Por fim, a PNRS incumbiu aos grandes geradores de resíduos sólidos e aos geradores de resíduos perigosos a obrigatoriedade de desenvolver

---

<sup>11</sup> Empresa de economista mista.

<sup>12</sup> Amlurb e SLU são parcerias público-privadas.

seus próprios planos de gerenciamento de resíduos, independentemente dos serviços municipais de resíduos. Os geradores são responsáveis pelo tratamento e destinação final dos resíduos por eles gerados e respondem civil e criminalmente pelos seus danos ambientais, mesmo que terceirizem esses serviços a empresas especializadas. Seus planos deverão ser apresentados e aprovados pelos órgãos ambientais competentes e servirão como condição para a renovação de suas licenças ambientais.

### A PNRS e a inserção social dos catadores

A PNRS traz consigo uma preocupação social ao prever a **participação de cooperativas** e outras formas de **associações de catadores** de materiais recicláveis e reutilizáveis em seus arranjos e destaca sua importância, desde a coleta seletiva até a logística reversa.

O sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos e a logística reversa priorizarão a participação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis constituídas por pessoas físicas de baixa renda [Brasil (2010b), art. 40].

A PNRS destaca, ao longo de seu texto, a participação dos catadores e os coloca como importantes agentes, participativos e colaboradores, podendo ser inseridos no sistema produtivo. Com isso, valoriza a função social e contribui para a melhoria do meio ambiente (ao retirar dele materiais como papel, papelão, garrafas PET, latas de alumínio etc.). Em sistemas de logística reversa, as cooperativas possuem importante papel, por ser o primeiro elo do processo produtivo (coleta).

Entretanto, no Brasil, ainda que existissem, em 2012, entre 400 mil e 600 mil catadores e aproximadamente 1.100 organizações coletivas em funcionamento, apenas 10% dos catadores participavam de alguma dessas organizações. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em média, apenas 27% dos municípios declaram ter conhecimento da atuação dos catadores de material reciclado no processo de destinação final dos resíduos. Em áreas urbanas, esse percentual sobe para 50%. A inclusão dos catadores é meta quantitativa (inclusão de 600 mil catadores em sistemas formais de coleta) do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

## Diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no Brasil: uma perspectiva regional

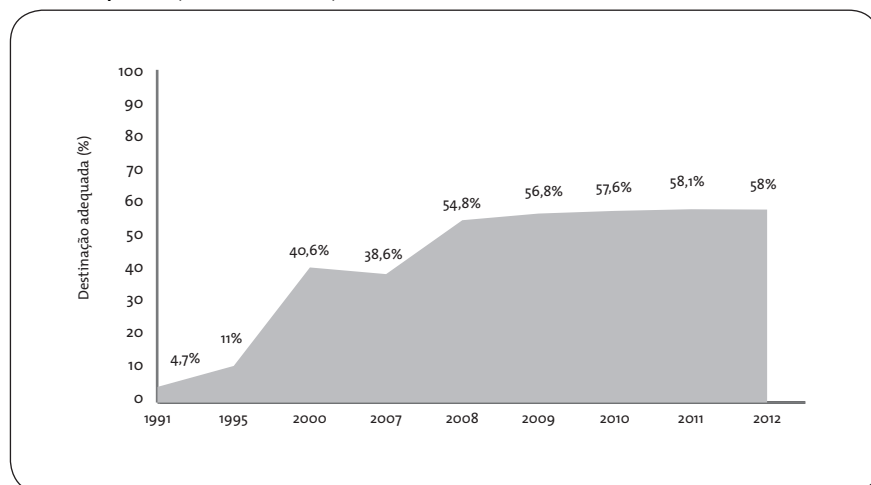
Com base em estudos [Abrelpe (2013); Fade e BNDES (2013)], apresenta-se uma síntese de diagnóstico da situação da geração e destinação de RSU no Brasil, em 2012.

### Panorama geral: Brasil

No Brasil, entre 2000 e 2012, o percentual de RSU destinado para aterros sanitários aumentou significativamente, passando de 35,4% para 58,3%, enquanto o volume destinado para aterros controlados e para lixões apresentou, respectivamente, reduções de 24,2% para 19,4% e de 32,5% para 19,8% [Abrelpe (2013)]. Tais percentuais, entretanto, mantiveram-se estáveis de 2008 a 2012, conforme Gráfico 1.

De acordo com Abrelpe (2013), o Brasil gerou, em 2012, 62 milhões de toneladas de RSU, fração correspondente a aproximadamente 326 kg/hab., ou cerca de 0,94 kg/hab./dia.

**Gráfico 1** | Evolução da destinação de RSU no Brasil (1991-2012)

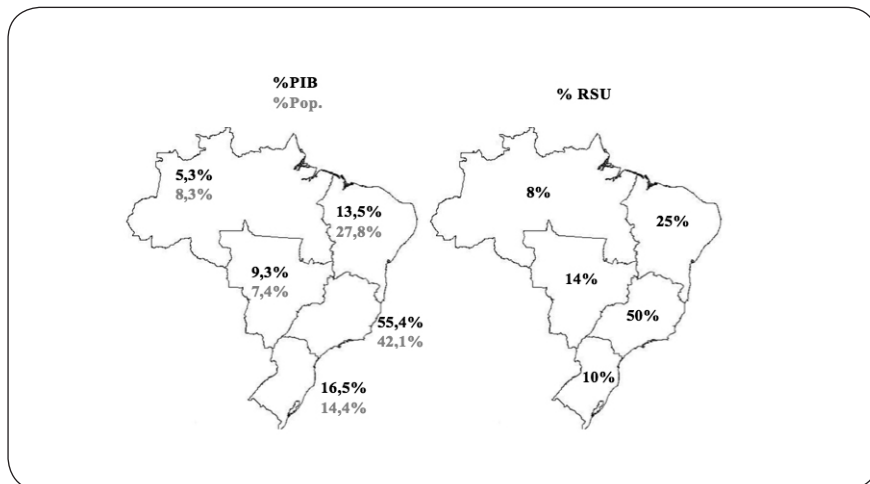


Fonte: Elaboração própria, com base em FADE (2012).

A geração, coleta e forma de destinação dos RSU diferem substancialmente entre as diferentes regiões brasileiras e sua distribuição espacial depende

da concentração populacional e da concentração de renda. Tais correlações são mostradas na Figura 1.

**Figura 1** | Correlação entre PIB e geração de RSU/Brasil



Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013) e IBGE (2010).

Em 2012, Nordeste e Sudeste foram responsáveis, em conjunto, pela geração de 75% do total de RSU do país. Enquanto no Nordeste apenas 35,4% dos RSU foram destinados a aterros sanitários, em 2012, na Região Sudeste 72,2% dos RSU tiveram tal destinação.

Do ponto de vista socioambiental, lixões e aterros controlados possuem impactos semelhantes, sendo ambos tratados como formas inadequadas de destinação de resíduos.

[...] aterro controlado, que se constitui em áreas de antigos lixões que passaram por um processo de isolamento do entorno para minimizar os efeitos do chorume gerado, além da canalização deste chorume para tratamento adequado, remoção dos gases produzidos em diferentes profundidades do aterro, recobrimento das células expostas na superfície, compactação adequada, e gerenciamento do recebimento de novos resíduos [Cerbato e Argolo (2012, p. 6)].

Definiu-se, para fins de modelagem, **RSU tratado de modo inadequado** como soma dos volumes destinados a lixões e a aterros controlados, conforme Tabela 1.

Em média, em 2012, 51,5% dos RSU no Brasil ainda eram destinados de modo inadequado.

**Tabela 1** | Geração e destinação do RSU por região do Brasil (2012), em t/dia

	RSU gerado (t/dia) A	Aterros sanitários (%) B	Aterros controlados (%) C	Lixões (%) D	Total de lixo destinado de modo inadequado (C+D) (%)	Total de RSU destinado inadequadamente (t/dia)
Norte	13.754	35,1	29,8	35,1	64,9	8.926
Nordeste	51.689	35,4	33,0	31,6	64,6	33.391
Centro-Oeste	16.055	29,4	48,1	22,5	70,6	11.335
Sudeste	98.215	72,2	17,3	10,5	27,8	27.304
Sul	21.345	70,3	18,2	11,5	29,7	6.339
<b>Brasil</b>	<b>201.058</b>	<b>48,48</b>	<b>29,28</b>	<b>22,24</b>	<b>51,52</b>	<b>103.585</b>

Fonte: Abrelpe (2013).

Ainda que a Região Nordeste seja responsável pela geração de apenas 25,7% dos RSU no país, responde por 32,3% do total não tratado (lixões ou aterros controlados). Ou, expondo-se de outra maneira: ainda que a geração de RSU na Região Nordeste seja menor do que na Região Sudeste, o elevado percentual destinado a aterros controlados e lixões acaba por gerar, em termos absolutos, maior quantidade de RSU a ser tratada do que na Região Sudeste.

A discussão acerca da distribuição espacial dos RSU no território faz interseção com a discussão de adensamentos populacionais. Regiões com grandes aglomerações de indivíduos geram grandes volumes de RSU, enquanto pequenos municípios são menores geradores. A Tabela 2 apresenta as substanciais diferenças de densidade populacional entre as regiões do país.

Outra informação relevante na compreensão do equacionamento das questões relacionadas ao tratamento de RSU consiste no percentual de habitantes residentes em grandes centros urbanos (o que permite soluções concentradas de grande escala) *vis-à-vis* o percentual de habitantes residentes e dispersos em pequenos municípios. A questão é especialmente relevante dado o fato de a Constituição Federal definir como responsabilidade de cada município o gerenciamento de seus próprios resíduos. Isso faz com

que grandes municípios, com maior pujança de receitas, possam investir em grandes aterros ou terceirizar as atividades de disposição e tratamento. Por outro lado, pequenos municípios, com menor escala de arrecadação de impostos, ficam limitados a soluções de pequena escala ou alternativas tecnológicas para tratamento de seus resíduos.

**Tabela 2** | Densidade demográfica – Brasil 2010

Região	Território (km <sup>2</sup> )	% território	População	% população	Densidade populacional (hab./km <sup>2</sup> )
Norte	3.853.575,62	45,32	15.865.678	8,32	4,12
Nordeste	1.554.387,73	18,28	53.078.137	27,83	34,15
Sudeste	924.596,06	10,87	80.353.724	42,13	86,91
Sul	563.802,08	6,63	27.384.815	14,36	48,57
Centro-Oeste	1.606.366,79	18,89	14.050.340	7,37	8,75
<b>Total</b>	<b>8.502.728,27</b>	<b>100,00</b>	<b>190.732.694</b>	<b>100,00</b>	<b>22,43</b>

Fonte: IBGE (2010).

A Tabela 3 apresenta a distribuição dos municípios brasileiros por porte e região do país.

**Tabela 3** | Número de municípios, por porte e região do país

	Até 30 mil	Entre 30 mil e 250 mil	Entre 250 mil e 1 milhão	Acima de 1 milhão	Total
Norte	338	103	6	2	449
Nordeste	1.446	329	15	4	1.794
Sudeste	1.301	318	44	4	1.667
Centro-Oeste	394	65	5	2	466
Sul	1.017	155	14	4	1.190
<b>Total</b>	<b>4.496</b>	<b>970</b>	<b>84</b>	<b>16</b>	<b>5.566</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2010).

## Geração e destinação de RSU no Brasil (2012): análise regional

### Sudeste

Com população equivalente a 42% do total nacional (80 milhões de habitantes) e Produto Interno Bruto (PIB) correspondente a 50% do PIB brasileiro, o Sudeste respondeu por 48,8% do total de RSU gerado no país, no

ano de 2012, equivalentes a 98 mil toneladas por dia. Vale notar que, com apenas 10% do território nacional (924.000.000 km<sup>2</sup>), a região apresenta o maior índice de densidade demográfica (86,9 hab./km<sup>2</sup>).

Em 2012, na Região Sudeste, foram geradas 98 mil toneladas por dia de RSU, das quais 72% destinadas a aterros sanitários. O restante, cerca de 27.300 t/dia de RSU (ou 26,3% do total de RSU tratado de modo inadequado no país), ainda necessitava ser tratado (Tabela 1).

A Tabela 4 apresenta a geração de RSU por estado da Região Sudeste, bem como a quantidade ainda destinada de modo inadequado (fração não tratada) em cada estado.

**Tabela 4** | Geração de RSU e RSU não tratado – Sudeste

	RSU gerado em 2012 (t/dia)	RSU não tratado (t/dia)*	% da fração não tratada em cada estado pelo total não tratado na região
SP	56.626	15.742	57,65
MG	17.592	4.891	17,91
RJ	21.041	5.849	21,42
ES	2.956	822	3,01
<b>Total</b>	<b>98.215</b>	<b>27.304</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

\* Quantidade estimada.

O estado de São Paulo foi o maior responsável pela geração dos RSU do Brasil (25%), seguido do Rio de Janeiro (10,5%), de Minas Gerais (8,75%) e do Espírito Santo (1,5%).

Das regiões brasileiras, o Sudeste apresenta a maior concentração de habitantes (83,8% dos indivíduos) em municípios de médio e grande portes (acima de 30 mil habitantes), sendo mais de 50% deles residentes em municípios com população superior a 250 mil habitantes, percentual equivalente a aproximadamente 40 milhões de indivíduos. Apenas 16% da população da região reside em municípios com menos de 30 mil habitantes, como mostra Tabela 5.

Tal configuração espacial da população e, conseqüentemente, da geração de RSU requer soluções com porte/dimensões compatíveis, conforme discussão de resultados, exposta na subseção “Resultados” na quarta seção.



**Tabela 5** | Perfil dos municípios – Sudeste

Habitantes	Número de municípios	População	% da população
Até 30 mil	1.301	12.919.464	16,08
Entre 30 mil e 250 mil	362	25.555.424	31,80
Entre 250 mil e 1 milhão	44	19.632.630	24,43
Acima de 1 milhão	4	22.246.206	27,69
<b>Total</b>	<b>1.711</b>	<b>80.353.724</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2010).

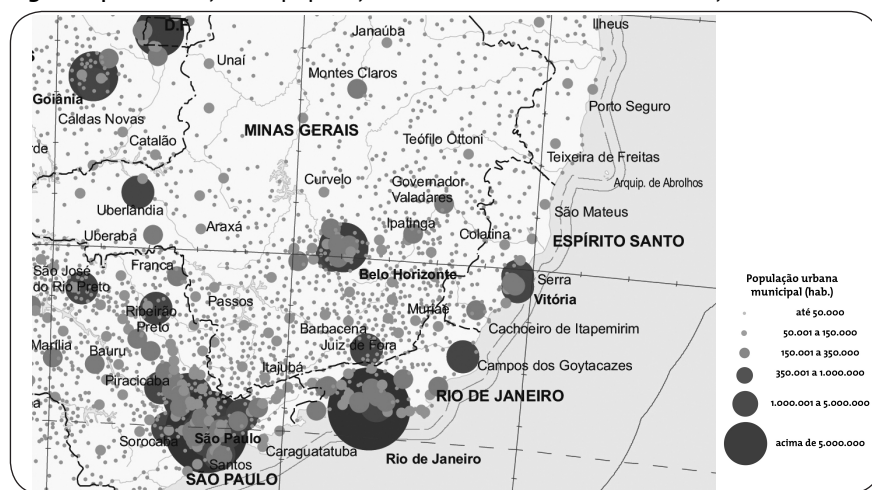
Por apresentar maior grau de adensamento populacional em centros urbanos do que as regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste, soluções associativas para o tratamento de resíduos podem ser exploradas – uma vez que a distância (custo de transporte) é fator imprescindível para a viabilidade econômica da prestação de serviços de tratamento de RSU.

As figuras 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam distâncias entre as grandes aglomerações populacionais das regiões analisadas, mostrando ser economicamente inviável associações para fins de compartilhamento de aterros. Entretanto, ao redor de tais aglomerações, é possível observar certo número de municípios de pequeno e médio portes, possibilitando que esses municípios se utilizem dos aterros das grandes cidades. Pode-se citar o exemplo da implantação de aterro com capacidade de 2.000 t/dia no município de Rosário (MA) que atende não somente a São Luís, mas também ao próprio município de Rosário. Espera-se, com o passar do tempo, que outro município também venha a utilizar a referida instalação. A aglomeração de municípios na Região Sudeste é ilustrada na Figura 2.

Ressalta-se que, representando apenas 10% do território nacional e gerando 50% dos RSU do país, a destinação de RSU torna-se preocupante questão socioambiental para a região. Nesse caso, em que se observa elevada concentração espacial do RSU, espera-se que o custo de disposição seja mais elevado do que em outras regiões do país, assim como o preço pago pelos serviços de tratamento (*gate fee*).

Assim sendo, enquanto os valores médios aplicados pelos municípios brasileiros para serviços de coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana, em 2006, giraram ao redor de R\$ 49,80 e R\$ 83,76 por habitante, respectivamente; na Região Sudeste, observaram-se valores de R\$ 55,92 e R\$ 96,72 por habitante [Abetre e FGV (2009)].

**Figura 2 | Distribuição da população no Sudeste – “zonas de saturação”**



Fonte: IBGE (2010).

### Nordeste

Composta por nove estados, a Região Nordeste abriga 53 milhões de brasileiros em um território de 1,5 milhão de quilômetros quadrados, perfazendo índice de 34,15 hab./km<sup>2</sup>.

De acordo com Abrelpe (2013), foram geradas 51,7 mil toneladas por dia de RSU no Nordeste, em 2012 (Tabela 6). Naquele ano, o percentual de RSU destinado a aterros sanitários na região foi de apenas 35,4%, restando, portanto, aproximadamente, 33,4 mil toneladas por dia de RSU, ainda destinadas a lixões e aterros controlados, necessitando tratamento adequado.

**Tabela 6 | Geração de RSU e RSU não tratado – Nordeste**

Estado	RSU gerado em 2012 (t/dia)	RSU não tratados (t/dia)*	Razão entre RSU não tratado no estado e RSU não tratado no Nordeste (%)
AL	2.807	1.813	5,43
BA	13.620	8.799	26,35
CE	9.060	5.853	17,53

(Continua)

(Continuação)

Estado	RSU gerado em 2012 (t/dia)	RSU não tratados (t/dia)*	Razão entre RSU não tratado no estado e RSU não tratado no Nordeste (%)
MA	6.754	4.363	13,07
PB	3.405	2.200	6,59
PE	8.471	5.472	16,39
PI	3.033	1.959	5,87
RN	2.795	1.806	5,41
SE	1.744	1.127	3,37
<b>Total</b>	<b>51.689</b>	<b>33.391</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

\* Quantidade estimada.

**Bahia, Ceará e Pernambuco ressaltam-se como maiores geradores, sendo responsáveis, em conjunto, por 60% do total de RSU gerados na região.**

Conforme Tabela 7, a Região Nordeste é caracterizada pelo elevado número de municípios com pequenas populações (com 1.446 municípios com população abaixo de 30 mil habitantes), e grande parte da população nordestina (17 milhões de indivíduos) habita municípios com população inferior a 30 mil habitantes, sugerindo que parte substancial dos resíduos a serem tratados na região encontra-se espacialmente dispersa nesses pequenos municípios.

**Tabela 7 | Perfil dos municípios – Nordeste**

Habitantes	Número de municípios	População	% da população da região
Até 30 mil	1.446	17.872.259	33,67
Entre 30 mil e 250 mil	344	19.924.746	37,54
Entre 250 mil e 1 milhão	15	7.608.240	14,33
Acima de 1 milhão	4	7.672.892	14,46
<b>Total</b>	<b>1.809</b>	<b>53.078.137</b>	<b>100,00</b>

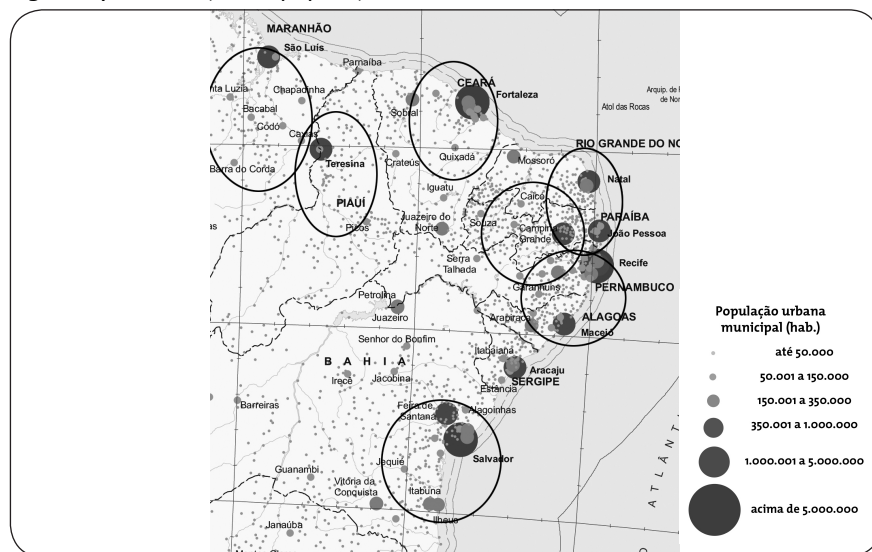
Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2010).

É de se esperar que os RSU no Nordeste estejam espacialmente distribuídos conforme a distribuição de sua população. Diferentemente

do Sudeste, a Região Nordeste apresenta elevado percentual de sua população residente em municípios de pequeno e médio portes. Um terço da população reside em municípios com população inferior a 30 mil habitantes e outro terço reside em municípios com população entre 30 mil e 250 mil habitantes. O perfil de concentração populacional do Nordeste permite inferir que os RSU também se encontram mais esparsos no território, o que pode requerer soluções individualizadas, com menor possibilidade de associações entre municípios e menores escalas de aterros sanitários.

Como foco de soluções de médio porte, apontam-se as regiões ao redor de Campina Grande (PB), Vitória da Conquista (BA) e Itaúna (BA). Merecem atenção os municípios com população entre 250 mil e 1 milhão de habitantes, passíveis de investimentos em aterros com capacidade para tratamento de 500 t/dia a 1.000 t/dia. Destacam-se Teresina (PI), Picos (PI), Codó (MA), Sobral (CE), Iguatu (CE), Mossoró (PB), Aracaju (SE), Feira de Santana (BA), Iatuba (BA) e Vitória da Conquista (BA).

**Figura 3 |** Distribuição da população no Nordeste



Fonte: IBGE (2010).

Apenas 7 milhões de habitantes vivem em grandes municípios do Nordeste, a saber: Salvador (BA), Recife (PE), São Luís (MA) e Fortaleza (CE). Acredita-se que o porte de tais municípios permita a participação da inicia-

tiva privada como parte das soluções relativas à coleta e destinação de RSU na região. Tomando-se o território nordestino, é possível perceber oito regiões definidas para logística dos RSU, conforme apresentado na Figura 3.

Para fins de tratamento analítico, dividiu-se a Região Nordeste em três aglomerados. Isso se justifica pela extensão do território nordestino e pelo peso de cada um desses aglomerados no total de RSU gerado na região. Conforme Tabela 8, cada aglomerado respondeu em 2012 pela geração de aproximadamente um terço do total de RSU da região.

**Tabela 8 |** Geração e disposição de RSU, em 2012 – Nordeste

	RSU gerado (t/dia)*	RSU destinado inadequadamente (t/dia)	% do total de RSU destinado inadequadamente na região
Aglomerado 1 (MA/PI/CE)	19.847	13.055	36
Aglomerado 2 (RN/PB/SE/PE/AL)	18.222	13.161	36
Aglomerado 3 (BA)	13.620	9.456	28
<b>Total</b>	<b>51.689</b>	<b>35.672</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

\* Quantidade estimada por meio da multiplicação do total gerado em cada estado pela fração destinada de modo inadequado em cada região.

### Centro-Oeste

Com extensão territorial de aproximadamente 1,6 milhão de quilômetros quadrados e população de apenas 14 milhões de habitantes, a região se resalta pelo baixo índice de densidade demográfica (8,75 hab./km<sup>2</sup>). A região possui outras peculiaridades, como elevado percentual de habitantes residentes em municípios de pequeno porte. Tal conjunção de fatores requer soluções específicas, conforme será discutido na próxima seção.

Na Região Centro-Oeste, foram geradas, em 2012, cerca de 11,3 mil toneladas por dia de RSU (Tabela 9). Desse volume, 70% (equivalentes a cerca de 7,9 mil t/dia) foram dispostos de modo inadequado (vazadouros a céu aberto e aterros controlados).

Assim, o Centro-Oeste brasileiro se resalta não pelo elevado nível absoluto de geração de RSU, mas pela elevada fração não trata-

da. Do ponto de vista socioambiental, investimentos que elevem a taxa de destinação adequada de RSU na região podem ter impactos bastante relevantes.<sup>13</sup>

**Tabela 9** | Geração de RSU e RSU não tratado – Centro-Oeste

Centro-Oeste	RSU gerado em 2012 (t/dia)	RSU não tratado (t/dia)*	Razão entre RSU não tratado no estado e RSU não tratado no Centro-Oeste (%)
DF	4.126	2.912	25,70
GO	6.330	4.468	39,43
MT	3.079	2.173	19,18
MS	2.520	1.779	15,70
<b>Total</b>	<b>16.055</b>	<b>11.334</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

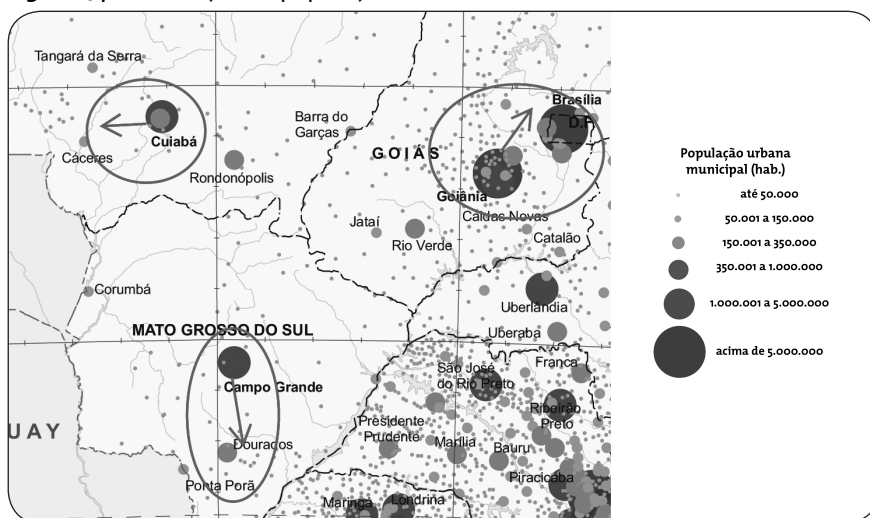
\* Quantidade estimada.

As principais aglomerações populacionais do Centro-Oeste encontram-se ao redor das capitais: Goiânia (GO), Cuiabá (MT), Campo Grande (MS) e Brasília (DF). Goiás ressalta-se como maior gerador (39,4% do total de RSU gerado na região), com grande volume de resíduos não tratados (4,5 mil toneladas por dia).

As distâncias entre tais aglomerados é, em média, de 700 km, o que permite inferir a necessidade de implementação de soluções locais de grande porte para os centros urbanos, individualizadas e em conformidade com as aglomerações populacionais da região, Figura 4.

O perfil das aglomerações populacionais do Centro-Oeste brasileiro difere do de outras regiões do país. Conforme Tabela 10, o número de habitantes dispersos em municípios com população abaixo de 30 mil habitantes (3,6 milhões de habitantes) equivale ao número de habitantes aglomerados nos dois maiores centros urbanos – 3,8 milhões de habitantes em Goiânia (GO) e Brasília (DF).

<sup>13</sup> Vale ressaltar que os grandes municípios das regiões menos desenvolvidas são aqueles passíveis de implementação de sistemas mais modernos de tratamento de RSU. Isso porque uma vez que tais regiões não possuem sequer as etapas iniciais de coleta, ao serem implementados, os novos sistemas de tratamento podem ser instalados, desde sua concepção, já contemplando a coleta seletiva, estações de triagem, reciclagem e outras alternativas de extração de riqueza dos RSU.

**Figura 4 |** Distribuição da população no Centro-Oeste

Fonte: IBGE (2010).

Isso pode significar que a região requer soluções bastante heterogêneas no tocante ao tratamento dos RSU. Ao mesmo tempo em que se faz necessária a implementação de grandes aterros em poucas capitais, será necessária também a implementação de pequenos aterros que atendam à população dos pequenos municípios.

**Tabela 10 |** Perfil dos municípios – Centro-Oeste

Habitantes	Número de municípios	População	% da população da região
Até 30 mil	394	3.601.436	25,63
Entre 30 mil e 250 mil	70	4.202.019	29,91
Entre 250 mil e 1 milhão	5	2.382.030	16,95
Acima de 1 milhão	2	3.864.855	27,51
<b>Total</b>	<b>471</b>	<b>14.050.340</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2010).

### Norte

Com aproximadamente 3,8 milhões de quilômetros quadrados de extensão (equivalentes a 40% do território nacional) e população de apenas 15 milhões de habitantes, a Região Norte apresenta a menor densidade po-

pulacional do país (4,12 hab./km<sup>2</sup>), sendo responsável por apenas 10% dos RSU gerados no Brasil em 2012.

Na região, foram geradas cerca de 13,7 mil toneladas por dia de RSU, em 2012 (Tabela 11). Desse volume, 65% foram destinados de modo inadequado (8,9 mil toneladas por dia).

**Tabela 11** | Geração de RSU e RSU não tratado – Norte

Norte	RSU gerado em 2012 (t/dia)	RSU não tratado (t/dia)*	Razão entre RSU não tratado no estado e RSU não tratado no Norte (%)
AC	565	367	4,11
AP	585	380	4,25
AM	3.811	2.473	27,71
PA	6.164	4.000	44,82
RO	1.200	779	8,72
RR	354	230	2,57
TO	1.075	698	7,82
<b>Total</b>	<b>13.754</b>	<b>8.926</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

\* Quantidade estimada.

Pará e Amazonas (Belém e Manaus) destacam-se como centros geradores de RSU na região, sendo responsáveis, conjuntamente, por 70% dos RSU gerados em 2012. A concentração dos RSU propicia, conforme se vem argumentando, soluções de grande escala.

Conforme Tabela 12, dos 455 municípios da Região Norte, Manaus e Belém requerem solução em grande escala. Já os outros 338 municípios abaixo de 30 mil habitantes requerem soluções tecnológicas de pequena escala e modelo de implementação com muitas unidades distribuídas ou, eventualmente, soluções tecnológicas alternativas.

A Região Norte apresenta 66% de seus habitantes residentes em municípios com população inferior a 250 mil indivíduos, ou seja, com elevado percentual de habitantes residentes em municípios pequenos e médios.

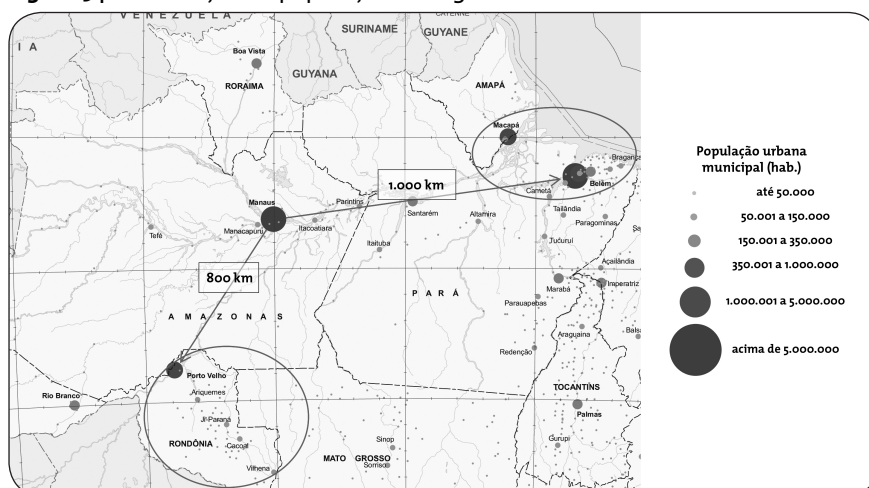
Finalmente, os seis municípios (Boa Vista, Santarém, Rio Branco, Macapá, Porto Velho e Ananindeua) com população entre 250 mil e 1 milhão de habitantes requerem solução em escala intermediária.



**Tabela 12 | Perfil dos municípios – Norte**

Habitantes	Número de municípios	População	% da população da região
Até 30 mil	338	3.987.710	25,13
Entre 30 mil e 250 mil	109	6.472.369	40,79
Entre 250 mil e 1 milhão	6	2.211.043	13,94
Acima de 1 milhão	2	3.194.556	20,14
<b>Total</b>	<b>455</b>	<b>15.865.678</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2010).

**Figura 5 | Distribuição da população na Região Norte**

Fonte: IBGE (2010).

Conforme será discutido na próxima seção, soluções de pequena escala são mais onerosas do que soluções concentradas de larga escala. Para os pequenos municípios da Região Norte, em sua maioria com menos de 5 mil habitantes e muito distantes uns dos outros, soluções individualizadas e com outras tecnologias específicas que não aterros sanitários podem se fazer necessárias.

### Sul

A Região Sul do país apresenta a melhor situação geral de tratamento de RSU no país. Com território de 563.000 km<sup>2</sup> e população de 27 milhões

de habitantes, a região tem os maiores índices de densidade demográfica do Brasil (48,57 hab./km<sup>2</sup>).

Em 2012, foram geradas cerca de 21,3 mil toneladas por dia de RSU na Região Sul do Brasil (Tabela 13). Desse total, 70% foram destinados a aterros sanitários, restando-se aproximadamente 6,3 mil toneladas de lixo a serem tratadas (apenas 6,1% do total de RSU destinado de modo inadequado no país).

**Tabela 13 |** Geração de RSU e RSU não tratado – Norte

Sul	RSU gerado em 2012 (t/dia)	RSU não tratado (t/dia)*	Razão entre RSU não tratado no estado e RSU não tratado no Norte (%)
PR	8.507	2.527	39,85
SC	4.613	1.370	21,61
RS	8.225	2.443	38,53
<b>Total</b>	<b>21.345</b>	<b>6.339</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

\* Quantidade estimada.

Paraná e Rio Grande do Sul ressaltam-se como maiores geradores na região. Comparativamente a outras regiões do país, o Sul apresenta a melhor situação no que concerne a coleta, destinação e uso alternativos de técnicas de tratamento de resíduos.

**Tabela 14 |** Perfil dos municípios – Sul

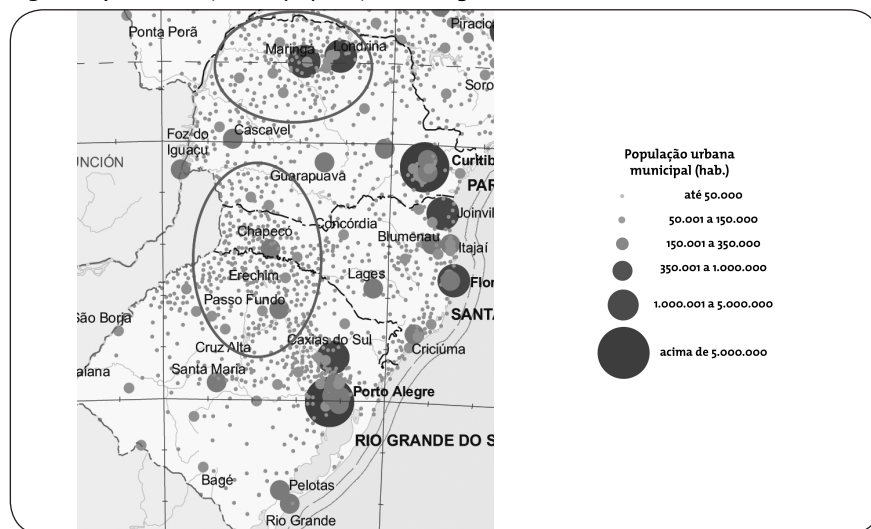
Habitantes	Número de municípios	População	% da população da região
Até 30 mil	1.017	8.326.221	30,40
Entre 30 mil e 250 mil	169	11.070.818	40,43
Entre 250 mil e 1 milhão	14	4.830.941	17,64
Acima de 1 milhão	4	3.156.835	11,53
<b>Total</b>	<b>1.204</b>	<b>27.384.815</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em IBGE (2010).

Com 1.204 municípios (um quinto do total nacional) e apenas 6,25% do território brasileiro, a Região Sul se destaca pelo elevado percentual de habitantes residentes em municípios com menos de 250 mil habitantes

(19,3 milhões de indivíduos ou 70% da população). Ressalta-se o grande número de pequenos municípios (1.017 municípios com menos de 30 mil habitantes, conforme Tabela 14).

**Figura 6 |** Distribuição da população na Região Sul



Fonte: IBGE (2010).

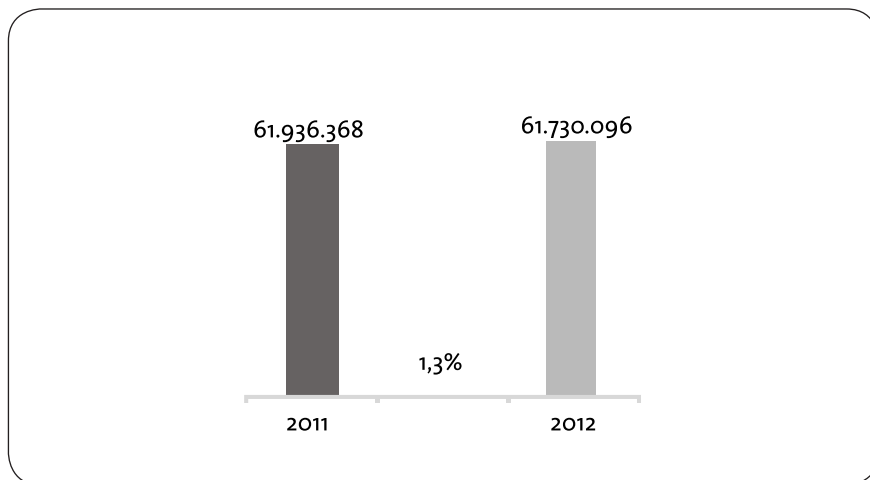
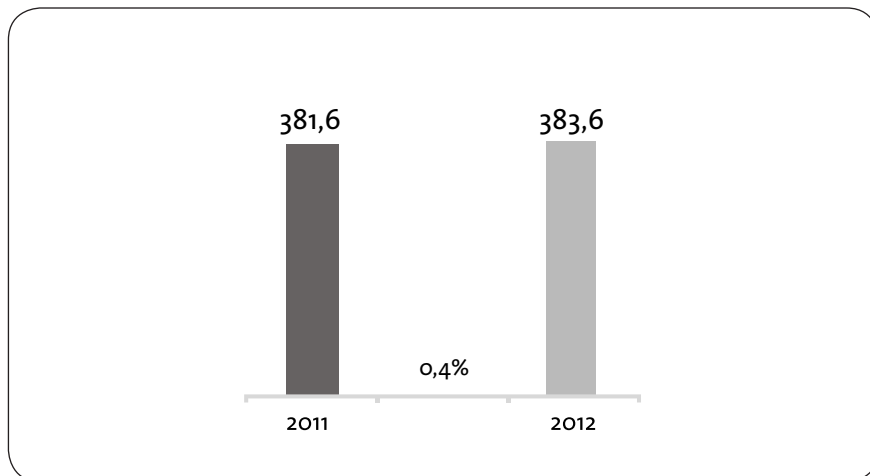
A Região Sul, portanto, com pequena geração e elevada destinação adequada, aponta como alvo prioritário de políticas públicas segmentos de coleta seletiva, reciclagem e educação ambiental, bem como a introdução de soluções inovadoras.

### *Geração per capita de resíduos, por região do país*

**Tabela 15 |** Geração de RSU *per capita*, por região (em kg/hab./ano)

Regiões	2011	2012	Variação (%)
Norte	1,154	1,145	(0,78)
Nordeste	1,302	1,309	0,50
Centro-Oeste	1,250	1,251	0,10
Sudeste	1,293	1,295	0,10
Sul	0,887	0,905	2,00

Fonte: Abrelpe (2013).

**Figura 7 |** Variação na geração de RSU no Brasil, 2011-2012**Figura 7A |** Geração de RSU (t/ano)**Figura 7B |** Geração de RSU *per capita* (kg/hab./dia)

Fonte: Abrelpe (2013).

De acordo com a Tabela 15, o perfil de geração de RSU em termos de kg/hab./dia difere de acordo com a região do país. Note que os maiores geradores em termos absolutos (Sudeste e Nordeste) também são os maiores geradores em termos *per capita*. Ressalta-se que no Nordeste tal rela-

ção não somente é a maior apresentada no país, mas também teve a maior elevação registrada no período analisado, de 0,5%. O caráter turístico de certas regiões pode ser considerado possível fator explicativo para as discrepâncias observadas.

Com crescimento de 1,3% na geração total de resíduos e 0,9% da população brasileira, observou-se elevação de 0,4% no índice de geração de resíduos *per capita* no Brasil, conforme ilustrado Figura 7.

Municípios pequenos apresentam elevados valores de geração (em kg/hab./dia), enquanto municípios maiores apresentam valores menores.

### **Investimentos necessários para extinção de lixões no país**

Dada a atual situação de geração e disposição de resíduos no país (exposta na terceira seção), pergunta-se: qual o investimento necessário para implementação de aterros sanitários suficientes para tratar a fração dos RSU ainda destinados de modo inadequado no país pelos próximos quatro anos (2015-2019)?

#### **Parâmetros de modelagem**

As estimativas propostas dependem fundamentalmente de três parâmetros:

- 1) quantidade de resíduos disposta inadequadamente no Brasil em cada região (Tabela 1);
- 2) custo de implementação de aterros sanitários de diferentes portes – pequeno (100 t/dia), médio I (500 t/dia), médio II (1.000 t/dia) e grande (2.000 t/dia); e
- 3) distribuição espacial dos RSU destinados de modo inadequado no território nacional (utilizou-se como *proxy* a distribuição espacial da população de cada estado).

A fração ainda não tratada ou disposta inadequadamente em 2012, por região, é apresentada na Tabela 16, os custos de implementação de aterros sanitários de diferentes tamanhos são apresentados nas tabelas 17 e 18, e a distribuição da população por estado e porte de município utilizada como peso para ponderação dos resultados na Tabela 19.

### *Fração de RSU não tratada no Brasil, por região*

A fração de RSU destinada de modo inadequado em cada região do país foi analisada na Tabela 1. As informações relevantes para fins de estimativa são reproduzidas na Tabela 16.

**Tabela 16** | Fração não tratada, por região, em 2012

SE	NE	N	CO	S
0,278	0,646	0,649	0,706	0,297

Fonte: Abrelpe (2013).

### *Custo de implementação de aterros sanitários no Brasil, por porte*

Composto principalmente por obras civis, o custo de implantação de aterros sanitários varia, de forma simplificada, em função de sua capacidade de recebimento total de resíduos, comumente mensurada pelo fluxo de recebimento diário (expresso em t/dia), bem como do tempo de vida útil do aterro.

De modo geral, os aterros sanitários são repartidos em diferentes regiões, ou *células*. Inicialmente, apenas uma célula é aberta e operada durante um período médio de três a quatro anos até que sua capacidade tenha sido exaurida. Após tal período, faz-se necessário investimento incremental em nova célula. E assim sucessivamente, até que a capacidade total do aterro seja completamente utilizada.

As estimativas do presente modelo consideram os custos de pré-implantação e implantação apenas da primeira célula. Como o tempo de vida útil total de um aterro é de vinte anos, para obtenção do custo de solução para toda a sua vida útil, *grosso modo*, o leitor pode multiplicar os valores encontrados nos resultados por cinco.

Concluídas as operações, segue-se etapa de fechamento do aterro, geralmente por meio de cobertura vegetal. Por fim, o aterro segue sendo monitorado até garantir que seus efeitos sobre o meio ambiente estejam devidamente estabilizados.

Conforme Abetre e FGV (2009), os investimentos em aterros sanitários podem ser divididos em cinco etapas: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-operação.

**Tabela 17** | Custos de implementação de aterros sanitários por etapa (em R\$)

	<b>Grande – 2.000 t/dia</b>	<b>Médio I – 1.000 t/dia*</b>	<b>Médio II – 500 t/dia*</b>	<b>Pequeno – 100 t/dia</b>
Pré-implantação	4.065.461	2.032.730	1.355.153	608.087
Implantação	18.169.781	9.084.890	6.056.593	2.669.178
Operação	461.494.052	230.747.026	153.831.350	45.468.163
Encerramento	6.488.889	3.244.444	2.162.963	486.667
Pós-encerramento	35.575.984	17.787.992	11.858.661	3.212.354
<b>Total</b>	<b>525.794.167</b>	<b>262.897.083</b>	<b>175.264.722</b>	<b>52.444.449</b>

Fonte: Abetre e FGV (2009).

\* Abetre e FGV (2009) apresentam custos para três tamanhos de aterro (100 t/dia, 800 t/dia e 2.000 t/dia). Procedeu-se à construção de uma curva de economia de escala com esses três pontos da qual se puderam obter, por extrapolação, os custos dos aterros de 1.000 t/dia e 500 t/dia.

Com base em Abetre e FGV (2009), foi possível estimar o custo das etapas iniciais de pré-implantação e implantação de aterros de diferentes portes, conforme Tabela 17. Optou-se por considerar apenas os custos de pré-implantação e implantação por dois motivos: em primeiro lugar, a implantação de empreendimentos costuma gerar demanda por recursos; em segundo lugar, o objetivo do estudo é estimar a necessidade de capital inicial a ser imobilizada de modo a implantar a quantidade necessária de aterros para tratar os RSU ainda não tratados em 2012.

Adotou-se como premissa que, uma vez implantado o aterro e aberta a primeira célula, a atividade de prestação de serviços de aterramento ao longo da vida útil da primeira célula (em média, quatro anos) gera receitas suficientes para cobrir os custos de operação e as necessidades de investimento futuras para a expansão das novas células. Portanto, a abertura das células subsequentes e as etapas de encerramento e pós-encerramento não representam necessidade de novos recursos. A rentabilidade média, bem como fluxo de caixa de aterros sanitários, pode ser vista em Martins (2014).

Vale notar que, uma vez que a base de dados disponível apresentava valores nominais de 2007, foi necessária atualização desses valores. Para tanto, tomou-se por base a evolução do Índice Nacional da Construção Civil – Disponibilidade Interna (INCC-DI), calculado pela Fundação Getúlio Vargas, entre 2008 e 2014. A Tabela 18 mostra tanto os valores nominais de 2007 como o valor total de implementação atualizado.

**Tabela 18** | Custos de implementação de aterros (em R\$)

	<b>Grande – 2.000 t/dia</b>	<b>Médio I – 1.000 t/dia*</b>	<b>Médio II – 500 t/dia*</b>	<b>Pequeno – 100 t/dia</b>
Pré-implantação	4.065.461	2.032.730	1.355.153	608.087
Implantação	18.169.781	9.084.890	6.056.593	2.669.178
<b>Total</b>	<b>22.235.242</b>	<b>11.117.620</b>	<b>7.411.746</b>	<b>3.277.265</b>
<b>Total atualizado</b>	<b>34.760.000</b>	<b>18.012.000</b>	<b>11.060.000</b>	<b>5.135.000</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abetre e FGV (2009).

\* Abetre e FGV (2009) apresentam custos para três tamanhos de aterro (100 t/dia, 800 t/dia e 2.000 t/dia). Procedeu-se à construção de uma curva de economia de escala com esses três pontos da qual se puderam obter, por extrapolação, os custos dos aterros de 1.000 t/dia e 500 t/dia.

### *Parâmetros de calibragem de resultados: distribuição dos municípios brasileiros, por porte e estado da federação*

Apesar da quantidade (fluxo diário) de RSU destinado de modo inadequado em 2012 ser bem conhecida, não se pode dizer o mesmo de sua distribuição espacial. Assim, utilizou-se a distribuição espacial da população, por classes de municípios, para fins de ponderações das estimativas. Como exemplo, se 11,6% da população do estado de São Paulo vive em cidades com menos de 30 mil habitantes (Tabela 19), supôs-se, por sua vez que, aproximadamente, 11,6% dos RSU gerados no estado encontram-se nesse porte de municípios. Disso depende o porte ou o tipo de solução tecnológica a ser adotada. Estados formados por muitos pequenos municípios deverão requerer maior participação de soluções consorciadas e/ou de pequenas escala do que estados formados por poucos grandes municípios (sugerindo peso maior em soluções de grande escala).

**Tabela 19** | Distribuição percentual de habitantes por porte de município

	<b>Até 30 mil habitantes (%)</b>	<b>Entre 30 mil e 250 mil (%)</b>	<b>Entre 250 mil e 1 milhão (%)</b>	<b>Acima de 1 milhão (%)</b>
SP	11,6	34,4	24,9	28,8
MG	34,6	36,3	16,9	12,1
RJ	5,1	27,2	22,8	44,7
ES	4,2	22,2	8,65	64,8
AL	53,2	46,7	0,0	0,0
BA	35,0	39,7	6,1	19,0

(Continua)



(Continuação)

	Até 30 mil habitantes (%)	Entre 30 mil e 250 mil (%)	Entre 250 mil e 1 milhão (%)	Acima de 1 milhão (%)
CE	22,8	44,3	3,8	28,9
MA	43,4	56,5	0,0	0,0
PB	48,8	21,6	29,4	0,0
PE	22,6	37,9	21,9	17,4
PI	68,6	31,3	0,0	0,0
RN	40,3	26,0	33,5	0,0
SE	36,7	35,6	27,6	0,0
DF	0,0	0,0	0,0	100,0
GO	34,6	48,5	16,8	0,0
MT	37,7	35,7	26,5	0,0
MS	33,8	34,0	32,1	0,0
AC	29,0	25,1	45,8	0,0
AP	19,4	21,0	59,5	0,0
AM	21,0	27,2	0,0	51,7
PA	19,5	52,0	10,1	18,3
RO	31,5	41,0	27,3	0,0
RR	37,0	0,0	63,0	0,0
TO	55,8	44,1	0,00	0,0
PR	30,8	33,4	18,9	16,7
SC	33,6	46,4	19,9	0,0
RS	28,1	43,6	15,0	13,1

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de IBGE (2010).

### O modelo – extinção de lixões e aterros controlados até 2019

O presente modelo permite estimar o investimento total em aterros sanitários necessários para se tratar a fração que atualmente está disposta de modo inadequado no país. O cálculo segue o seguinte roteiro:

#### *Passo 1: Estimativa da quantidade de RSU não tratada, por estado da federação*

Primeiramente, obteve-se a quantidade de resíduos gerados em cada estado/região (tabelas 4, 6, 9, 11 e 13). Multiplicou-se, então, pela fração não

tratada em cada estado/região (Tabela 16) para se obter a quantidade de resíduos não tratados por estado/região (tabelas 4, 6, 9, 11 e 13).

***Passo 2: Ponderação dos RSU não tratados em função da concentração da população em diferentes portes de municípios***

Em seguida, multiplicou-se o resultado obtido no passo 1 pela fração de habitantes correspondente a cada classe de município (Tabela 19) com a finalidade de se estimar a quantidade de resíduos gerados em cada estado da federação, por porte de município.

***Passo 3: Módulos de investimento***

Foram especificados quatro módulos de investimento em aterros sanitários, em função da capacidade (módulo I: 100 t/dia; módulo II: 500 t/dia; módulo III: 1.000 t/dia; módulo IV: 2.000 t/dia).

***Passo 4: Estimativa da quantidade de aterros, por escala e porte de município***

Para estimar o número de aterros de cada porte a ser implantado em cada estado da federação, procedeu-se o seguinte cálculo: (1) obteve-se a quantidade de RSU não tratado em cada estado de acordo com a classe de município; (2) dividiu-se o resultado encontrado (t/dia) de RSU não tratado em municípios de pequeno porte em dado estado pela capacidade do aterro módulo 1. O mesmo procedimento foi repetido para municípios de portes superiores.

***Passo 5: Investimentos necessários***

Determinada a quantidade de aterros, por porte de município em cada estado da federação, multiplicou-se essa pelos respectivos custos de investimentos para estimar os custos de implementação dos respectivos *mix* de aterros.

Dessa forma, o modelo permite estimar a quantidade de investimentos necessária para tratar os resíduos dispostos de modo inadequado em cada estado da federação por escala de aterro, por período de três a quatro anos (tempo de vida útil de cada célula), conforme análise a seguir.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Vale notar que a problemática envolvendo os RSU consiste em um fenômeno dinâmico. Como tal, os conceitos de “estoque” (passivo ambiental ou RSU acumulado no tempo) e “fluxo” (RSU gerado a cada ano) se fazem presentes. O estoque ou passivo ambiental consiste nos RSU acumulados nos últimos anos. O fluxo consiste na quantidade de RSU ainda a ser gerada nos próximos anos, dependendo do crescimento populacional e do PIB.

## Resultados

### Sudeste

A leitura da Tabela 20 permite inferir com base nas estimativas que, na Região Sudeste, seriam necessários 39 aterros com escala para tratamento de 100 t/dia, 18 aterros com capacidade para tratamento de 500 t/dia, seis aterros com capacidade para tratamento de 1.000 t/dia e quatro aterros com capacidade para tratar 2.000 t/dia de RSU.

**Tabela 20** | Número de aterros necessários para tratar os RSU destinados de modo inadequado na Região Sudeste

	Resíduos não tratados	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia
SP	15.742,03	18,35	10,86	3,93	2,27
MG	4.890,58	16,93	3,55	0,83	0,30
RJ	5.849,40	3,02	3,19	1,34	1,31
ES	821,77	0,35	0,37	0,07	0,27
<b>Total</b>	<b>27.303,77</b>	<b>38,65</b>	<b>17,97</b>	<b>6,17</b>	<b>4,14</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

Os resultados apresentados pelo modelo proposto merecem discussão. Sugere-se a implementação de 39 pequenos aterros (100 t/dia) para atender à totalidade dos 1.301 municípios com população abaixo de 30 mil habitantes na região. À primeira vista, tal número pode parecer insuficiente ou irrealista. Análise mais detalhada permite argumentação que corrobora tal resultado. Conforme discutido na terceira seção, a proximidade (densidade populacional) entre tais municípios propicia soluções compartilhadas.

Para fins ilustrativos, tome-se o seguinte exemplo didático: dividindo-se a área total da Região Sudeste (925.000 km<sup>2</sup>) por 39 aterros, obtém-se cobertura média de 23.000 km<sup>2</sup>/aterro. Dividindo-se, para fins analíticos, a Região Sudeste em 39 sub-regiões circulares, é possível encontrar o raio médio de cobertura de cada aterro. No exemplo em questão, observa-se que a implementação desses 39 aterros permitiria raio de cobertura de 85 km para cada aterro. De acordo com a literatura, dentro desses limites, soluções associativas podem se mostrar economicamente viáveis. Nesse caso, os consórcios teriam que ser formados por aproximadamente trinta municípios. O

modelo sugere a implementação desses consórcios, sobretudo, nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Vale notar que as duas colunas à direita apresentam números fracionados. Adotou-se tal procedimento pela seguinte razão: entende-se que meio aterro de grande escala (com capacidade para processar 2.000 t/dia) equivaleria a um aterro de 1.000 t/dia; que meio aterro de 1.000 t/dia equivaleria a um aterro de 500 t/dia; e assim por diante. De outro modo, o arredondamento do valor 0,3 aterro de 2.000 t/dia levaria, por exemplo, à conclusão de que o ES não necessitaria de nenhum aterro de grande escala (uma vez que 0,3 seria arredondado para baixo), distorcendo as conclusões. De fato,  $0,3 \times 2.000 \text{ t/dia} = 600 \text{ t/dia}$ . Assim, a leitura dessas colunas merece atenção.

A Tabela 21, por sua vez, apresenta a distribuição da necessidade estimada de investimentos em aterros sanitários, por porte de aterro e estado da região. **De acordo com as estimativas, o Sudeste necessitaria de investimentos de R\$ 652 milhões para implementar seu parque de aterros sanitários.**

**Tabela 21** | Estimativas de investimento – Sudeste (em milhões de R\$)

	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia	Total
SP	94,25	120,06	70,86	78,99	<b>364,16</b>
MG	86,95	39,30	14,91	10,30	<b>151,47</b>
RJ	15,49	35,30	24,06	45,47	<b>120,32</b>
ES	1,78	4,05	1,28	9,27	<b>16,37</b>
<b>Total</b>	<b>198,47</b>	<b>198,71</b>	<b>111,11</b>	<b>144,02</b>	<b>652,31</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013), IBGE (2010) Abetre e FGV (2009).

Vale notar que o Sudeste requer recursos da mesma ordem de grandeza tanto para implantação de aterros com capacidade para tratamento de 100 t/dia de RSU (da ordem de R\$ 198 milhões) quanto para implementação de aterros com capacidade para tratamento de 2.000 t/dia (ao redor de R\$ 144 milhões).

### Nordeste

A Tabela 22 permite inferir com base nas estimativas do modelo proposto que a Região Nordeste necessitaria da construção de 121 aterros de pequeno porte (100 t/dia), além de outros 27 aterros médios I (500 t/dia), quatro

aterros médios II (1.000 t/dia) e outros dois grandes aterros (2.000 t/dia). Novamente, vale notar as duas colunas à direita, com números fracionados. No estado da Bahia, por exemplo, os valores de 0,83 aterro grande (equivalente a 1.660 t/dia) e de 0,54 aterro médio II (equivalente a 540 t/dia) mostram a necessidade de implementação de aterros de médio e grande portes.

**Tabela 22** | Número de aterros necessários para tratar os RSU destinados de modo inadequado na Região Nordeste

	RSU não tratado	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia
AL	1.813,32	9,66	1,69	0,00	0,00
BA	8.798,52	30,82	6,99	0,54	0,84
CE	5.852,76	13,38	5,19	0,22	0,85
MA	4.363,08	18,95	4,94	0,00	0,00
PB	2.199,63	10,75	0,95	0,65	0,00
PE	5.472,27	12,37	4,16	1,20	0,48
PI	1.959,32	13,45	1,23	0,00	0,00
RN	1.805,57	7,29	0,94	0,61	0,00
SE	1.126,62	4,14	0,80	0,31	0,00
AL	33.391,09	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>120,81</b>	<b>26,89</b>	<b>3,53</b>	<b>2,17</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013) e IBGE (2010).

Assim como na Região Sudeste, os resultados propostos pelo modelo para a Região Nordeste merecem discussão. Nesse caso, sugere-se a implementação de 121 pequenos aterros (100 t/dia) para atender à totalidade dos 1.446 municípios com população abaixo de 30 mil habitantes na região. Dividindo-se o número de municípios de pequeno porte pelo total de pequenos aterros, obtém-se a relação de 12 municípios compartilhando cada aterro. Para que isso seja viável, entretanto, faz-se necessário que a distância entre eles esteja dentro do raio econômico da atividade.

Tome-se o exemplo didático utilizado anteriormente. Dividindo-se a área total da Região Nordeste (3,8 milhões de quilômetros quadrados) por 121 aterros, obtém-se cobertura média de 31.404 km<sup>2</sup>/aterro. Dividindo-se, para fins analíticos, a Região Nordeste em 121 sub-regiões circulares é possível encontrar o raio médio de cobertura de cada aterro. No exemplo em questão, observa-se que a implementação desses 121 aterros permitiria

raio de cobertura de 100 km para cada aterro. De acordo com a literatura, dentro desses limites, soluções associativas tendem a apresentar viabilidade econômica.

**Tabela 23** | Estimativas de investimento – Nordeste (em milhões de R\$)

	<b>Pequeno – 100 t/dia</b>	<b>Médio I – 500 t/dia</b>	<b>Médio II – 1.000 t/dia</b>	<b>Grande – 2.000 t/dia</b>	<b>Total</b>
AL	49,61	18,74	0,00	0,00	68,35
BA	158,25	77,32	9,76	29,19	274,52
CE	68,71	57,38	4,05	29,47	159,62
MA	97,29	54,60	0,00	0,00	151,89
PB	55,21	10,55	11,66	0,00	77,42
PE	63,51	45,98	21,63	16,62	147,73
PI	69,05	13,59	0,00	0,00	82,65
RN	37,41	10,42	10,92	0,00	58,74
SE	21,28	8,87	5,60	0,00	35,76
<b>Total</b>	<b>620,34</b>	<b>297,45</b>	<b>63,62</b>	<b>75,28</b>	<b>1.056,69</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013), IBGE (2010) e Abetre (2009).

A Tabela 23 apresenta conclusão interessante: ainda que o Nordeste seja responsável por apenas 25% dos RSU gerados no país, o baixo índice de tratamento, em conjunto com o perfil de distribuição dos municípios (grande número de municípios abaixo de 30 mil habitantes), faz com que a região necessite de mais investimentos do que a Região Sudeste. Para implementar o parque com a combinação de aterros proposta na Tabela 22, seriam necessários valores próximos de R\$ 1 bilhão.

A grande concentração de habitantes em cidades de pequeno e médio portes requer a concentração de recursos nesses municípios. Em particular, a necessidade de recursos para atender aos pequenos municípios nordestinos (ao redor de R\$ 620 milhões) é praticamente equivalente à quantidade de recursos necessária para atender a toda a Região Sudeste (R\$ 652 milhões).

### *Centro-Oeste*

A Tabela 24 permite inferir, com base nas estimativas do modelo proposto, que a Região Centro-Oeste necessitaria da construção de 150 aterros de

pequeno porte (100 t/dia), além de outros sete aterros médios I (500 t/dia), dois aterros médios II (1.000 t/dia), além de um grande aterro (2.000 t/dia) para atender a Brasília (DF). Assim como nas outras regiões, o número de 1,6 aterro de 1.000 t/dia poderia ser substituído por um aterro de 1.000 t/dia e outro de 500 t/dia.

**Tabela 24** | Número de aterros necessários para tratar os RSU destinados de modo inadequado na Região Centro-Oeste

	RSU não tratado	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia
DF	2.912,96	0,00	0,00	0,00	1,46
GO	4.468,98	15,47	4,34	0,75	0,00
MT	2.173,77	8,21	1,55	0,58	0,00
MS	1.779,12	6,01	1,21	0,57	0,00
<b>Total</b>	<b>11.334,83</b>	<b>29,69</b>	<b>7,11</b>	<b>1,90</b>	<b>1,46</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

Assim como na Região Nordeste, os resultados propostos pelo modelo para a Região Centro-Oeste são passíveis de ressalvas. No caso da Região Centro-Oeste, sugere-se a implementação de trinta pequenos aterros (100 t/dia) para atender à totalidade dos 394 municípios com população abaixo de 30 mil habitantes na região. Dividindo-se o número de municípios de pequeno porte pelo total de pequenos aterros, obtém-se a relação de 13 municípios compartilhando cada aterro. Para que isso seja viável, entretanto, faz-se necessário que a distância entre eles esteja dentro do raio econômico da atividade. Conforme Tabela 2, a baixa densidade demográfica da região pode dificultar soluções compartilhadas.

Tome-se novamente o exemplo didático utilizado. Dividindo-se a área total da Região Centro-Oeste (1,6 milhão de km<sup>2</sup>) por trinta aterros, obtém-se cobertura média de 52.800 km<sup>2</sup>/aterro. Dividindo-se, para fins analíticos, a Região Centro-Oeste em trinta sub-regiões circulares, é possível encontrar o raio médio de cobertura de cada aterro. No exemplo em questão, observa-se que a implementação desses trinta aterros permitiria raio de cobertura de 128,5 km para cada aterro. De acordo com a literatura, dentro desses limites, soluções associativas mostram-se economicamente inviáveis para atender à região. Nesse caso, vale notar que as soluções devem ser individualizadas, o que tende a aumentar o custo médio de imple-

mentação de sistemas de tratamento nessas regiões em comparação ao custo de implementação de aterros em regiões onde certos custos fixos (estradas, canteiros, balanças, custo da terra etc.) podem ser compartilhados por mais de um município.

**Tabela 25** | Estimativas de investimento – Centro-Oeste (em milhões de R\$)

	<b>Pequeno – 100 t/dia</b>	<b>Médio I – 500 t/dia</b>	<b>Médio II – 1.000 t/dia</b>	<b>Grande – 2.000 t/dia</b>	<b>Total</b>
DF	0,00	0,00	0,00	26,23	<b>26,23</b>
GO	79,42	48,02	13,54	50,63	<b>191,60</b>
MT	42,17	17,18	10,38	0,00	<b>69,72</b>
MS	30,88	13,40	10,30	0,00	<b>54,58</b>
	<b>152,47</b>	<b>78,60</b>	<b>34,21</b>	<b>76,86</b>	<b>342,14</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

A Tabela 25 reflete o elevado custo de implementação de grande número de pequenos aterros na Região Centro-Oeste. Ressalta-se que a estimativa de investimentos em aterros de pequeno porte (ao redor de R\$ 152 milhões) é duas vezes a necessidade de recursos a serem aplicados em aterros de grande porte (2.000 t/dia) na região.

### *Norte*

A Tabela 26 permite inferir, com base nas estimativas do modelo proposto, que a Região Norte necessitaria da construção de 22 aterros de pequeno porte (100 t/dia), além de outros sete aterros médios I (500 t/dia), um aterro médio II (1.000 t/dia) e um grande aterro (2.000 t/dia). Novamente, note que o estado do Amazonas necessita de 0,5 aterro de 2.000 t/dia, ou seja, de um aterro de 1.000 t/dia, ou, ainda, dez aterros de 100 t/dia. Já o estado do Pará necessitaria de 0,3 aterro de 2.000 t/dia (ou seja, um aterro de 600 t/dia) e 0,37 aterro de 1.000 t/dia (equivalente a quatro aterros de 100 t/dia). A configuração final do parque de aterros de cada região acaba por ser definida com base na distribuição espacial dos RSU em cada uma.

O resultado apresentado pelo modelo proposto sugere a implementação de 22 pequenos aterros (100 t/dia) para atender à totalidade dos 338 com população abaixo de 30 mil habitantes na região.



**Tabela 26** | Número de aterros necessários para tratar os RSU destinados de modo inadequado na Região Norte

	RSU não tratado	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia
AC	366,69	1,06	0,18	0,17	0,00
AP	379,67	0,74	0,16	0,23	0,00
AM	2.473,34	5,19	1,35	0,00	0,64
PA	4.000,44	7,82	4,16	0,40	0,37
RO	778,80	2,46	0,64	0,21	0,00
RR	229,75	0,85	0,00	0,14	0,00
TO	697,68	3,89	0,62	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>8.926,35</b>	<b>22,01</b>	<b>7,11</b>	<b>1,16</b>	<b>1,01</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

Para fins ilustrativos, tome-se o seguinte exemplo didático: dividindo-se a área total da Região Norte (3,8 milhões de quilômetros quadrados) por 22 aterros, obtém-se cobertura média de 172.727 km<sup>2</sup>/aterro. Dividindo-se, para fins analíticos, a Região Norte em 22 sub-regiões circulares, é possível encontrar o raio médio de cobertura de cada aterro. No exemplo em questão, observa-se que a implementação desses 22 aterros permitiria raio de cobertura de 234,5 km para cada aterro. De acordo com projetos de estações de transbordo e aterros ao redor de grandes regiões metropolitanas financiados pelo BNDES, observam-se raios econômicos que variam de 60 km a 90 km. Assim, parece razoável considerar, ao atual custo dos combustíveis e *gate fees*, que 100 km seja a distância limítrofe para que a atividade de coleta, transporte e destinação se viabilize sem a necessidade de subsídios governamentais.

Sabidamente, tais distâncias inviabilizam a possibilidade de compartilhamento de aterros entre municípios, sugerindo que o modelo proposto não é o mais adequado para tratar a problemática dos RSU na região. Provavelmente, essa região requererá outros tipos de tecnologias, além dos aterros sanitários, para tratamento e destinação de seus resíduos.

A Tabela 27 apresenta a necessidade total de investimentos na região, da ordem de R\$ 247 milhões, ou 10% do total de investimentos requeridos no país.

**Tabela 27** | Estimativas de investimento – Norte (em milhões de R\$)

	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia	Total
AC	5,47	2,04	3,03	0,00	<b>10,53</b>
AP	3,78	1,77	4,07	0,00	<b>9,62</b>
AM	26,67	14,89	0,00	22,26	<b>63,82</b>
PA	40,13	46,03	7,28	12,75	<b>106,20</b>
RO	12,63	7,08	3,83	0,00	<b>23,54</b>
RR	4,37	0,00	2,61	0,00	<b>6,97</b>
TO	19,99	6,82	0,00	0,00	<b>26,81</b>
<b>Total</b>	<b>113,04</b>	<b>78,63</b>	<b>20,82</b>	<b>35,01</b>	<b>247,50</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013) e Abetre e FGV (2009).

### *Sul*

A Região Sul do país não somente gera menos RSU que outras regiões do país (apenas 10 % dos RSU gerados) como, além disso, destina elevado percentual a aterros sanitários, sendo responsável por apenas 5% dos RSU tratados de modo inadequado.

A Tabela 28 permite inferir que a Região Sul necessitaria da construção de 19 aterros de pequeno porte (100 t/dia), além de outros cinco aterros médios I (500 t/dia) e um aterro médio II (1.000 t/dia).

**Tabela 28** | Número de aterros necessários para tratar os RSU destinados de modo inadequado na Região Sul

	RSU não tratado	Pequeno – 100 t/dia	Médio I – 500 t/dia	Médio II – 1.000 t/dia	Grande – 2.000 t/dia
PR	2.526,58	7,78	1,69	0,48	0,21
SC	1.370,06	4,61	1,27	0,27	0,00
RS	2.442,83	6,87	2,13	0,37	0,16
<b>Total</b>	<b>6.339,47</b>	<b>19,26</b>	<b>5,10</b>	<b>1,12</b>	<b>0,37</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

A proximidade entre centros urbanos na região propicia a formação de consórcios, principalmente ao redor de regiões metropolitanas. Com 1.017 pequenos municípios, o modelo proposto sugere que cada aterro seja compartilhado por aproximadamente 54 municípios. Com extensão 563.802,08 km<sup>2</sup>,

segundo o exemplo didático proposto, cada aterro teria um raio de cobertura de 97 km.

**Tabela 29** | Estimativas de investimento – Sul (em milhões R\$)

	<b>Pequeno – 100 t/dia</b>	<b>Médio I – 500 t/dia</b>	<b>Médio II – 1.000 t/dia</b>	<b>Grande – 2.000 t/dia</b>	<b>Total</b>
PR	40,0	18,7	8,6	7,3	74,7
SC	23,7	14,1	4,9	0,0	42,7
RS	35,3	23,6	6,6	5,6	71,1
<b>Total</b>	<b>98,9</b>	<b>56,4</b>	<b>20,2</b>	<b>12,9</b>	<b>188,4</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abrelpe (2013).

De acordo com as estimativas, seriam necessários ao redor de R\$ 188 milhões em investimentos para implementar o parque de aterros necessário para tratar os RSU não tratados na região.

## Conclusões e propostas

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu metas a serem cumpridas até agosto de 2014. No momento da publicação deste artigo, parte das metas ainda não havia sido cumprida. Entre elas, observa-se a previsão de extinção de todos os lixões (vazadouros a céu aberto) no Brasil. O presente estudo trata o tema com enfoque nas necessidades de investimentos necessárias para a destinação dos RSU em aterros sanitários.

Procurou-se estimar a monta de investimentos necessários para a substituição dos lixões (e também dos aterros controlados) por aterros sanitários. Para tanto, foram utilizados dados informados por Abrelpe (2013) acerca da geração e destinação de RSU no Brasil.

A sugestão de uma modelagem de cálculo de estimativas de investimentos apresenta, de modo geral, dois desafios: (i) o desenvolvimento da lógica com a qual as variáveis se inter-relacionam de modo a obter os resultados; e (ii) a existência de dados que possam definir as condições de cálculo. No caso do presente artigo, observou-se dificuldade em obter base de dados atualizada e sistematizada com valores nominais do custo de implementação de aterros sanitários de diferentes escalas.

Os resultados do modelo apontam para algumas conclusões. As regiões Nordeste e Sudeste respondem, juntas, por 70% do total de RSU gerados no

país e também por 70% do total de RSU destinado de modo inadequado no Brasil. Dessa forma, mostram-se regiões prioritárias como alvo de políticas públicas para o setor.

As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste têm os maiores déficits de aterros sanitários, com apenas 30% dos resíduos sendo tratados com essa tecnologia, enquanto Sul e Sudeste destinam, em média, 70% de seus RSU a aterros.

As regiões brasileiras, por possuírem distribuição populacional bastante heterogênea, apresentam também heterogeneidade na concentração/dispersão dos RSU no território, que se refletem nas tecnologias a serem implantadas em cada região.

Com relação às estimativas de investimento, de acordo com o modelo proposto, estimou-se a necessidade de investimentos da ordem de R\$ 2,5 bilhões em aterros sanitários de diferentes portes para atender à necessidade de tratamento de RSU que até o ano de 2012 ainda eram destinados a lixões e aterros controlados no Brasil. A distribuição de investimentos por região é sumariada na Tabela 30.

**Tabela 30** | Investimentos necessários para extinção de lixões no Brasil (em milhões de R\$) – 2015-2019

Região	Investimentos necessários
Nordeste	1.056,68
Sudeste	652,31
Centro-Oeste	342,14
Norte	247,50
Sul	188,40
<b>Total</b>	<b>2.487,04</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em Abetre e FGV (2009) e Abrelpe (2013).

No Nordeste, verifica-se maior quantidade de resíduos destinados de forma inadequada, aproximadamente 33,4 mil toneladas por dia, e, ao mesmo tempo, registra-se elevada concentração populacional, 34,15 hab./km. Somando-se as precárias condições de saúde pública e infraestrutura de saneamento, tais fatores sugerem que o Nordeste deveria ser prioridade na implantação de aterros sanitários (erradicando-se os vazadouros a céu aberto). Destacam-se os estados da Bahia, Ceará e Pernambuco como foco

de política, uma vez que, juntos, somam 60% dos resíduos destinados inadequadamente na Região Nordeste. Estimou-se que seriam necessários valores em torno de R\$ 1 bilhão para implantar parque de aterros sanitários capaz de tratar a totalidade dos resíduos que hoje são destinados a lixões e aterros controlados na região.

De acordo com as estimativas documentadas no referido artigo, tal parque deveria ser formado por *mix* de aterros de grande (2.000 t/dia), médio (de 500 t/dia a 1.000 t/dia) e pequeno porte (100 t/dia). Em particular, a distância média existente entre pequenos municípios da região indica necessidade de número elevado de pequenos aterros – encarecendo-se o custo total de implementação, dadas as economias de escala observáveis. Não se deve, entretanto, negligenciar a situação de grande número de pequenos municípios onde os outros 40% do volume total de RSU não tratados na Região Nordeste estão dispersos. Para tais municípios, estimou-se necessidade de implementação de 121 pequenos aterros (100 t/dia). No caso do Nordeste, em que o raio médio de cobertura desses 121 aterros é inferior a 100 km, soluções consorciadas apresentam atratividade econômica.

A Região Norte possui pequena participação no PIB nacional (e, portanto, na geração de RSU), baixa densidade demográfica (com elevada concentração de geração de RSU em poucos municípios de grande porte: notoriamente, Manaus, Belém e Porto Velho) e reduzida taxa de destinação adequada. Destarte, ainda que a geração seja pequena, em volume e percentual, as elevadas taxas de destinação inadequada trazem à tona a necessidade de endereçar a questão. Os investimentos totais em aterros foram estimados em R\$ 250 milhões, sendo 50 % em pequenos aterros (22 unidades de R\$ 5 milhões) e os outros 50% em médios e grandes (nove unidades de diferentes portes). Merecem atenção sistemas tecnológicos em municípios passíveis de cheias de rios intermitentes.

O Centro-Oeste brasileiro apresenta, de acordo com a Figura 4, grandes aglomerados populacionais distantes uns dos outros (Brasília, Goiânia e Cuiabá encontram-se a 700 km de distância umas das outras e possuem, ainda, diversas cidades em suas cercanias), sugerindo a necessidade de soluções de médio e grande portes. Ainda que os resultados do modelo apontem a necessidade de investimentos em pequenos aterros tanto na Região Norte quanto na Centro-Oeste, a distância entre os pontos de geração de RSU em

cada região pode facilitar ou dificultar a implementação desses pequenos aterros bem como a formação de consórcios intermunicipais.

Tais argumentos apontam necessidade de soluções para tratamento dos resíduos na fonte de geração, por meio de outras tecnologias a depender da composição do resíduo.

O Sul e o Sudeste contam com boa cobertura de serviços de coleta e destinação adequada de resíduos, em comparação com o restante do país.

No Sudeste, entretanto, o estado de São Paulo ainda é responsável por 58% dos resíduos dispostos de forma inadequada na região e deve ser priorizado na instalação de aterros de médio e grande portes. A densidade demográfica é propícia aos consórcios intermunicipais. A tendência nessas regiões é a difusão de outras tecnologias que visam à valorização de resíduos, seu aproveitamento energético e econômico na indústria. Implementação de sistemas de logística reversa, reciclagem, compostagem, coprocessamento, entre outras tecnologias de maior valor agregado e investimento já começam a surgir dentro dos portfólios de empresas nessas regiões. Os locais onde estão instalados os aterros sanitários acabam por transformar-se em parque industrial de valorização de resíduos. Apoiar essa transformação pode ser uma perspectiva desejável para as regiões Sul e Sudeste.

O modelo sugere que há regiões, principalmente onde se verificam maiores concentrações populacionais, onde os consórcios entre municípios viabilizam o compartilhamento de aterros sanitários. Percebe-se que essa modalidade de atuação ainda tem sido pouco utilizada. Em Minas Gerais, o governo do estado lançou um edital de parceria público-privada englobando a região metropolitana, exceto Belo Horizonte, que poderia ser replicado em outras regiões.

O modelo sugere ainda que, em outras regiões, principalmente no Norte e no Centro-Oeste, o consórcio entre municípios é insuficiente para solucionar, de forma economicamente viável, o problema da destinação dos RSU apenas via aterros sanitários. Para essas regiões, deve-se verificar a aplicabilidade de outras tecnologias.

**Ressalta-se, portanto, a necessidade de políticas regionais específicas (taylor made) para o tratamento dos RSU, dependendo da região analisada, uma vez que existem diferenças significativas no perfil de**

## geração de RSU, na distribuição de riqueza e renda, assim como nas taxas de coleta, destinação e tratamento entre as regiões brasileiras.

### Anexo I | Conceitos e definições (Cap. II, Art. 3, Lei 12.305/10)

Capítulo II – Art. 3	Das definições
I – Acordo Setorial	Ato de natureza contratual firmado entre o setor público e fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, tendo em vista a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto.
II – Área contaminada	Local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos.
III – Área órfã contaminada	Área contaminada cujos responsáveis pela disposição não sejam identificáveis ou individualizáveis.
IV – Ciclo de vida do produto	Série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final.
V – Coleta Seletiva	Coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição.
VI – Controle Social	Conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos.
VII – Destinação final ambientalmente adequada	Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.
VIII – Disposição final ambientalmente adequada	Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.
IX – Geradores de resíduos sólidos	Pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo.
X – Gerenciamento de resíduos sólidos	Conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei.

(Continua)

(Continuação)

Capítulo II – Art. 3	Das definições
XI – Gestão integrada de resíduos sólidos	Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.
XII – Logística reversa	Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de <b>ações, procedimentos e meios</b> destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos ou outra destinação ambientalmente adequada.
XIII – Padrões sustentáveis de produção e consumo	Produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras.
XIV – Reciclagem	Processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa.
XV – Rejeitos	Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresenta outra possibilidade que não a disposição ambientalmente adequada.
XVI – Resíduos sólidos	Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.
XVII – Responsabilidade compartilhada	Conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos RSU, para minimizar o volume de resíduos e rejeitos gerados.
XVIII – Reutilização	Processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa.
XIX – Serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos	Conjunto de atividades previstas no art. 7º da Lei nº 11.445, de 2007.



**Anexo II | Princípios e Objetivos (Cap. II, Art.6 e Art. 7, Lei 12.305/10)**

<b>Princípios</b>	<b>Objetivos</b>
I – Prevenção	I – Proteção da saúde pública
II – Poluidor-pagador e o protetor-recebedor	II – Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento...
III – Visão sistêmica...	III – Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo
IV- Desenvolvimento sustentável	IV – Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas...
V – Ecoeficiência	V – Redução do volume e da periculosidade
VI – Cooperação entre diferentes esferas de governo	VI – Incentivo à indústria de reciclagem...
VII – Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto	VII – Gestão integrada de resíduos sólidos
VIII – Reconhecimento do resíduo sólido reutilizável como um bem econômico	VIII – Articulação entre diferentes esferas do setor público
IX – Respeito às diversidades locais e regionais	IX – Capacitação técnica...
X – Direito à informação	X – Regularidade, continuidade, funcionalidade...
XI – Razoabilidade e a proporcionalidade	XI – Prioridade nas aquisições e contratações governamentais para: (a) produtos reciclados e recicláveis; (b) bens, serviços e obras que considerem...
	XII – Integração dos catadores de materiais reutilizáveis
	XIII – ... implementação da avaliação do ciclo de vida do produto
	XIV – Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental empresarial
	XV – Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável

**Anexo III | Instrumentos selecionados pelos autores (Cap.II, Art. 8, Lei 12.305/10)**

<b>Instrumentos</b>
I – Os planos de resíduos sólidos
II – Os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos

*(Continua)*

(Continuação)

<b>Instrumentos</b>
III – A coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos
IV – O incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis
V – O monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária
VI – A cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado
VII – A pesquisa científica e tecnológica
VIII – Educação ambiental
IX – Incentivos fiscais, financeiros e creditícios
X – O Fundo Nacional de Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
XI – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (Sinir)
XII – Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa)
XIII – Os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde
XIV – Os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos
XV – O Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos
XVI – Os acordos setoriais
XVII – No que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente
XVIII – Os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta
XIX – O incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

Fonte: Brasil (2010a).

## Referências

ABETRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS;  
FGV – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. *Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: FGV, 2009.

ABRELPE – *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. 2012. 2013. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)>. Acesso em: 11 jun. 2014.

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República, Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Diário Oficial da União*, 3 ago. 2010a.

\_\_\_\_\_. Casa Civil da Presidência da República. Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010. *Diário Oficial da União*, 23 dez. 2010b, edição extra.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. Versão preliminar. Brasília, ago. 2012.

CERBATO, F.; ARGOLLO, J. Análise técnica e Socioambiental do Aterro Controlado do Município de Amargosa-BA. *Entrelaçando – Revista Eletrônica de Culturas e Educação*, n. 5, ano III, jan.-abr. 2012. ISSN 2179.8443.

FADE-UFPE; BNDES – FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO; BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Dez. 2013.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos*. Brasília, 2012.

MARTINS, G. *Atuação do BNDES no setor de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: BNDES, 2014.

RUTH, M. *Integrating economics, ecology and thermodynamics*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. London, 1993.

WOLFRUM, R. *O Princípio da Precaução*. In: VARELLA, M. D.; PLATIAU, A. F. B. (org.). *Princípio da Precaução: Coleção Direito Ambiental em Debate*. Belo Horizonte: Ed. Del Rey, 2004.

UN – UNITED NATIONS. *Our common future – report of the World Commission on Environment and Development*. New York, 1987.