

**A gestão das rotas tecnológicas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB****Management of technological routes for treatment and final destination of urban solid waste in the municipality of João Pessoa / PB**

DOI:10.34117/bjdv6n2-126

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 12/02/2020

**Cristine Helena Limeira Pimentel**

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco.

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.

Endereço: Rua Pastor José Alves de Oliveira SN – Cabedelo. CEP 58310-000 – Cabedelo – PB – Brasil. Fone: (83) 3228-6859

E-mail: cristinehelena@hotmail.com

**Claudia Coutinho Nóbrega**

Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande

Instituição: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia - Campus I, Departamento de Tecnologia da Construção Civil.

Endereço: Campus I/LARHENA/S/N, Castelo Branco, 58039900 - João Pessoa, PB – Brasil.

Telefone: (83) 32167684

E-mail: claudiacnobrega@gmail.com

**José Fernando Thomé Jucá**

Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid, Espanha.

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil.

Endereço: Avenida Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. 50740530 - Recife, PE – Brasil. Telefone: (81) 21268222

E-mail: jucah@ufpe.br

**Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel**

Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia, UFBA, Brasil.

Instituição: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia - Campus I, Departamento de Tecnologia da Construção Civil.

Endereço: Campus I/LARHENA/S/N, Castelo Branco, 58039900 - João Pessoa, PB – Brasil.

Telefone: (83) 32167684

E-mail: ubiratan.hop@gmail.com

**Wanessa Alves Martins**

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba

Endereço: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58428-830

E-mail: wanessa\_ufcg@hotmail.com

**RESUMO**

O modelo de gestão dos resíduos sólidos municipais é a base de qualquer planejamento de percursos de coletas, tratamentos e disposição final ambientalmente adequada. Os estudos prévios como as quantidades e composição dos resíduos coletados, as rotas tecnológicas e o conhecimento do fluxo

dos resíduos e seus custos, permitem uma melhor análise das possibilidades de aplicação de novas tecnologias ou formas de gerir os resíduos de determinada localidade. A presente pesquisa tem como objetivo estudar as rotas tecnológicas do município de João Pessoa e propor alternativas que sejam coerentes com a realidade da gestão. O estudo foi desenvolvido a partir de um aprofundamento acerca da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do município, do levantamento da massa coletada de resíduos, da quantificação gravimétrica dos mesmos, roteirização do percurso da coleta indiferenciada e da estruturação da rota tecnológica existente. Por meio da metodologia empregada, que consistiu de levantamentos bibliográficos e documentais do órgão que gerencia os resíduos em João Pessoa, a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), entrevistas e análise sistemática do fluxo dos resíduos, pôde-se verificar que o município possui duas rotas tecnológicas, uma com tratamento e outra sem tratamento, esta com destino final o aterro sanitário e aquela as indústrias da reciclagem. Entre os componentes das rotas tecnológicas estão a geração de resíduos, as coletas seletiva e convencional, a triagem nos galpões de coleta seletiva dos bairros e do aterro, a reciclagem e a destinação final no aterro sanitário. A rota tecnológica da coleta indiferenciada do município está formulada de acordo com os percursos da coleta convencional. A coleta seletiva compõe a etapa da rota tecnológica que fornece o único tratamento disponibilizado no município de João Pessoa para os RSU. Ao todo, 20,12% da população da capital recebe cobertura da coleta seletiva. Assim, após análises técnica e ambiental da gestão dos RSU do município de João Pessoa, são levantadas propostas de rotas tecnológicas com técnicas de tratamento e disposição final conforme a situação local, aspectos sócio, culturais e econômicas da população, tecnologias de tratamento aplicadas e legislação vigente. O estudo consiste em confrontar a rota tecnológica existente com possíveis tecnologias identificadas para o perfil do município.

**Palavras-chave:** Rota Tecnológica, Resíduos Sólidos, Coleta Seletiva.

#### **ABSTRACT**

The municipal solid waste management model is the basis for any planning of collection routes, treatments and environmentally appropriate final disposal. Previous studies such as the quantities and composition of the collected waste, the technological routes and the knowledge of the waste flow and its costs, allow a better analysis of the possibilities of applying new technologies or ways to manage the waste of a given location. This research aims to study the technological routes of the city of João Pessoa and propose alternatives that are consistent with the reality of management. The study was developed from an in-depth study of the management of Solid Urban Waste (MSW) in the municipality, the survey of the collected mass of waste, the gravimetric quantification of the same, the routing of the undifferentiated collection route and the structuring of the existing technological route. Through the methodology used, which consisted of bibliographical and documentary surveys of the body that manages the waste in João Pessoa, the Municipal Special Municipal Cleaning Agency (EMLUR), interviews and systematic analysis of the waste flow, it was possible to verify that the municipality it has two technological routes, one with treatment and one without treatment, this one with the final destination the landfill and the recycling industries. Among the components of the technological routes are the generation of waste, selective and conventional collection, sorting in the selective collection sheds of the neighborhoods and the landfill, recycling and final disposal in the landfill. The technological route of the municipality's undifferentiated collection is formulated according to the conventional collection routes. The selective collection composes the stage of the technological route that provides the only treatment available in the city of João Pessoa for the MSW. In all, 20.12% of the capital's population receives coverage from selective collection. Thus, after technical and environmental analysis of the management of MSW in the city of João Pessoa, proposals are made for technological routes with treatment techniques and final disposition according to the local situation, socio-cultural and economic aspects of the population, applied treatment technologies and legislation current. The study consists of comparing the existing technological route with possible technologies identified for the profile of the municipality.

**Key words:** Technological Route, Solid Waste, Selective Collection.

## 1 INTRODUÇÃO

A escolha das tecnologias de tratamento de resíduos sólidos requer análise de vários contextos. Segundo Mourad et al. (2002), nenhum sistema de gerenciamento consegue tratar todo o material presente nos RSU com a adoção de um único tratamento. Faz-se necessária a aplicação de uma série de tratamentos, incluindo, por exemplo: reciclagem, tratamento biológico, incineração e aterro. Teoricamente, a maior parte dos resíduos dispostos em aterros sanitários pode ser reciclada; porém, fatores técnicos e econômicos inviabilizam vários processos, restando como alternativa o descarte (DMITRIJEVAS, 2010).

A Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010) estabelece que a partir do momento em que são gerados, os resíduos necessitam receber o tratamento correto para evitar que se tornem causadores de impactos ambientais. Para isso, é importante adotar um sistema eficaz que contemple todas as fases pelas quais o resíduo passará, desde a sua origem até a disposição final. O gerenciamento de resíduos engloba as etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação final dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

No Brasil a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2015, foi, aproximadamente, 79,9 milhões de toneladas, representando um aumento de 1,65% em relação a 2014, índice superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,86%. O acompanhamento dessa geração também deve ser observado pelos gestores públicos como sinal de alerta, para um país que possui uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que tem como um dos objetivos a não geração de resíduos. Para piorar a situação observam-se os municípios brasileiros descartando cada vez mais resíduos sólidos, sem qualquer controle no descarte na natureza ou no seu acondicionamento. Mesmo com a promulgação da lei que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos em 2010, a destinação final dos RSU ainda é um problema de grandes proporções no Brasil. Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2015, publicado pela ABRELPE (2015), 58,7% dos municípios brasileiros dão destino e tratamento adequados aos RSU, que não mudou em relação ao ano anterior. Porém ainda se tem 41,3% do total de resíduos, 29.659.170 toneladas, que estão sendo destinados a lixões.

O problema torna-se ainda mais complexo, quando oito anos depois da vigência da lei, percebe-se que ainda há muitos entraves para sua aplicação, afinal, muitos gestores não conseguiram cumprir as metas estabelecidas pela PNRS. Com a Lei nº 12.305/2010 criou-se a expectativa das melhorias por parte das entidades públicas na gestão dos resíduos, pois a regulamentação facilita um

direcionamento das iniciativas e dos investimentos no setor com a garantia e segurança necessária requerida por grupos por investidores de capital privado de grupos econômicos de porte.

A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil é definida pelos entes municipais, enquanto os serviços são executados pelos municípios, principalmente nos de pequeno e médio porte. Os municípios, ao se depararem com a quantidade de resíduos gerada em seu território e frente à necessidade de soluções práticas e imediatas, acabam adotando medidas desprovidas de análises técnicas, considerando principalmente a questão financeira para implementar novos mecanismos para o gerenciamento dos resíduos (MERSONI & REICHERT, 2017). Diante do exposto, consegue-se justificar os grandes debates acerca do fomento ao setor de resíduos sólidos. Pesquisas em busca de soluções ambientais e gerenciais estão sendo concebidas de forma a oferecer opções para o equilíbrio entre os custos e os benefícios gerados, que abrangem não só a prefeituras, mas a toda uma cadeia de atores (o associado de coleta seletiva, o sucateiro, a indústria da reciclagem, a sociedade como um todo e o meio ambiente).

O presente estudo tem o município de João Pessoa como campo de investigação. A pesquisa estrutura e analisa a atual rota tecnológica de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos da capital paraibana e seus componentes, visando fornecer subsídios para a proposta de novas rotas tecnológicas. Os resultados da pesquisa fornecem aos gestores e demais pesquisadores informações que possam subsidiar o processo de tomada de decisões na gestão dos resíduos sólidos.

## **2 OBJETIVO**

A presente pesquisa tem como objetivo analisar as rotas tecnológicas dos resíduos sólidos urbanos (domiciliares/públicos/comerciais) no município de João Pessoa.

### **Objetivos específicos:**

- Identificar os componentes das rotas tecnológicas de resíduos sólidos urbanos do município de João Pessoa
- Propor rotas tecnológicas compatíveis com a realidade atual da gestão municipal de resíduos sólidos

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A configuração do estudo que visa identificar os componentes das rotas tecnológicas de resíduos sólidos urbanos (domiciliares/públicos/comerciais) do município de João Pessoa e propor rotas tecnológicas compatíveis com a realidade atual da gestão municipal de resíduos sólidos, para tanto foi estruturada a metodologia como segue.

Para a criação de propostas de rotas tecnológicas para o município foram observados os princípios utilizados por Jucá et al. (2014) quando da configuração de rotas para as cinco regiões do país e alguns estados. Sendo assim, seguem os princípios:

- as rotas definidas devem estar alinhadas à Política Nacional dos Resíduos Sólidos;
- o horizonte a ser considerado na proposta de rotas deve incluir curto e médio prazos;
- devem ser considerados critérios técnicos, econômicos, ambientais, sociais e culturais associados às tecnologias e à região específica;

Independentemente do tamanho da população atendida, dentro das limitações e possibilidades do município e não excluindo da análise a adoção de tecnologias mais complexas, devem ser consideradas as seguintes atividades:

- coleta seletiva de resíduos recicláveis (secos);
- coleta seletiva de resíduos orgânicos (úmidos);
- coleta de rejeitos;
- unidades de triagem;
- unidades de compostagem;
- aterro sanitário.

Outro princípio defendido pelos autores para montagem de uma rota tecnológica é a conexão entre as tecnologias, o aproveitamento das cooperativas e/ou associações de catadores no aproveitamento de resíduos, a possibilidade da reciclagem orgânica e o aproveitamento energético, seja isolado seja no aterro sanitário.

Para a observação dos comportamentos e fluxos das Unidades de Triagem da Coleta Seletiva de João Pessoa, das Coletas Convencionais (resíduos coletados sem prévia separação na fonte geradora, não envolve a coleta de recicláveis), e dos locais de Disposição Final, foram montadas estações de observação semanais em cada Unidade de Triagem catalogada no município através da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), mensal na unidade de Disposição Final, além de acompanhamento da coleta realizada por cada empresa prestadora desse serviço, o qual foi realizado em três oportunidades. A utilização de múltiplas fontes e a triangulação dos dados e evidências das mesmas são critérios que aumentam a credibilidade e a confiabilidade dos resultados (ALVES-MAZZOTI; GEWANDSZNAJDER, 2004). Ou seja, a partir do cruzamento de uma fonte com outra, consegue-se uma melhor constatação e sustentação das informações. Este método múltiplo, permite uma visão sistêmica, com foco nas informações realmente relevantes, de forma a

minimizar possível entraves técnicos e metodológicos e maximizar a sustentabilidade das informações das rotas tecnológicas final dos resíduos sólidos da municipalidade.

Para a montagem das rotas tecnológicas do município foram analisadas algumas variáveis que por meio de correlação permitiram a compreensão da gestão dos resíduos sólidos do município:

- População.
- Densidade demográfica.
- Renda.
- Área.
- Número de domicílios.

Para o estudo das Rotas Tecnológicas Convencionais - RTC (sem coleta seletiva de recicláveis) as variáveis investigadas foram:

- Massa de resíduos coletados.
- Massa de resíduos coletados por habitante.
- Cobertura da coleta convencional (indiferenciada).
- Gravimetria dos resíduos sólidos.
- Total de quilômetros percorridos na coleta.

Para as Rotas Tecnológicas Seletivas - RTS (com coleta diferenciada ou seletiva do município) foram estudadas as seguintes variáveis:

- Gravimetria dos materiais recicláveis.
- Bairros atendidos pela coleta seletiva.
- Domicílios atendidos pela coleta seletiva.
- Material potencialmente reciclável comercializado.

Essas variáveis foram levantadas através de dados obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE) e à EMLUR. O município de João Pessoa, segundo os dados censitários do IBGE (2010), possui 215.586 domicílios. Com os dados populacionais de cada bairro e sua respectiva a distribuição de domicílios, pode-se calcular a relação “pessoa/domicílio” que é imprescindível para a especificação da geração dos resíduos nos mesmos e calcular a abrangência da coleta seletiva.

A coleta convencional de resíduos sólidos urbanos domésticos, comerciais e de serviços públicos têm como destino final o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP). Ao chegar ao ASMJP, o caminhão é pesado e registrado no sistema os dados a massa bruta, massa líquida (que é calculada após a pesagem do caminhão vazio, tendo o seu peso como tara), horário de entrada e saída do aterro e o bairro atendido. Como o aterro funciona em quatro turnos, o total acompanhamento dessas pesagens tornou-se inviável, optando-se por analisar os relatórios gerenciais da EMLUR e fazer conferências e acompanhar rotina in loco. Essas informações são geridas por um software de armazenagem de informações particular, “Balança”, que permite a emissão de relatórios diários. Para uma maior abrangência da geração de resíduos, que envolve fatores sazonais e climáticos, optou-se por acompanhar a série histórica de dois anos (2014 e 2015).

Segundo Pascoal Junior e Oliveira Filho (2010), interferências como armazenamento, reutilização, reciclagem e descarte em locais inadequados desviam parte do fluxo de materiais antes do descarte dos resíduos em locais de destinação final. Desta forma, discussões baseadas sobre a produção de resíduos estão relacionadas a quantidade de resíduos coletados e não aos efetivamente gerados. Assim, para a sistematização dos cenários, foram observadas as etapas de gerenciamento de RSU adotadas em João Pessoa abrangendo as coletas de resíduos convencional e seletiva, transporte, triagem dos resíduos seletivos, reciclagem e disposição final em aterro sanitário. Considerando as metas da PNRS, visando a diminuir gradativamente a quantidade de material disposto em aterro, foram propostos cinco cenários com diferentes rotas tecnológicas para o gerenciamento dos resíduos.

#### **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A identificação de rotas tecnológicas em análises de modelos de gestão torna mais simples o sistema e a montagem de estratégias a serem estudadas em processo decisório. É, portanto, um caminho de soluções que envolve várias dimensões, explora técnicas diversas e relevantes.

No contexto da gestão de RSU, Jucá et al. (2014) definem uma rota tecnológica como o conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, envolvendo circuitos de coleta de resíduos de forma indiferenciada e diferenciada e contemplando tecnologias de tratamento dos resíduos com ou sem valorização energética. Por esse conceito percebe-se a que a rota tecnológica tem início, necessariamente, com a geração e encerra com a disposição final em um aterro sanitário, podendo haver, entre as etapas, uma ou mais formas ou tecnologias de tratamento.

Seguindo a metodologia já apresentada, foram identificadas, dentro do fluxo dos resíduos no município, duas rotas tecnológicas de tratamento e disposição final do município de João Pessoa (Figura 1).

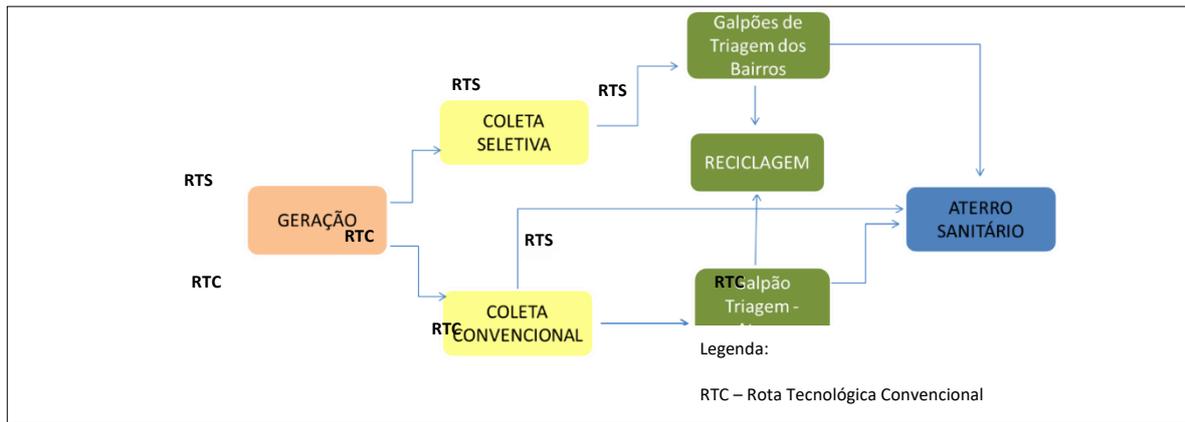


Figura 1: Fluxo dos resíduos sólidos e identificação das rotas tecnológicas de João Pessoa

Pela Figura 1, observa-se que partindo da geração dos resíduos nas residências, comércios, mercados públicos e feiras livres, as coletas indiferenciadas (convencional) e a diferenciada (seletiva) marcam o início das rotas tecnológicas do município.

Com a Coleta Convencional tem-se o início da RTC, que tem como Destino Final o ASMJP. Os resíduos de alguns caminhões, após passarem pela balança na entrada do aterro, são interceptados para serem triados na unidade de triagem da Associação dos Trabalhadores de Materiais Recicláveis – ASTRAMARE, que se localiza na área do aterro, os rejeitos seguem para a célula em operação e os recicláveis são comercializados com destino às indústrias. A RTS inicia-se com a Coleta Seletiva e fornece o único tratamento disponibilizado no município de João Pessoa para os RSU, a triagem dos resíduos nos galpões existentes em alguns bairros. Como visto, a rota tecnológica do município de João Pessoa tem como componentes as coletas seletiva e convencional, a triagem nos galpões dos bairros e do aterro, a reciclagem e a destinação final no aterro sanitário.

### A Rota Tecnológica Convencional

A RTC é fisicamente percebida de acordo com os percursos da coleta convencional que cobre, segundo o PMGIRS em João Pessoa (2014), noventa e seis por cento do município. Da coleta convencional os resíduos seguem para o aterro sanitário, que também recebe os rejeitos dos galpões de triagem do aterro e da coleta seletiva.

A quantidade de resíduos influi no porte e no tipo das unidades de coleta, tratamento e disposição final, por isso um primeiro parâmetro a ser considerado para esse estudo foi a massa de resíduos gerados no município. A partir da massa média de resíduos coletados em dois anos, segundo relatórios do software “Balança” da EMLUR, foi calculada a geração média mensal de resíduos do município, os quais resultaram em 21.091,24 toneladas por mês. Vale lembrar que o município coleta

96% do resíduo sólido do gerado pela população (JOÃO PESSOA, 2014), segundo a ABRELPE (2015) essa cobertura no Brasil é de 90,80%.

Tabela 1: A geração de resíduos sólidos urbanos domiciliares, comerciais e públicos de João Pessoa

POPULAÇÃO	TOTAL DE RESÍDUOS COLETADOS (t/mês)	TOTAL DE RESÍDUOS GERADOS (t/mês)	DE	GERAÇÃO PER CAPITA (kg/hab.dia)	TOTAL DE KM PERCORRIDOS PARA COLETA (mês)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA DE JOÃO PESSOA (hab/km <sup>2</sup> )
787.362	20.247,59	21.091,24		0,892	104.520,55	3.400,82

Na Tabela 1 está evidenciada a média de geração de resíduos, e a partir dela calcula-se taxa de geração per capita, que relaciona a quantidade de resíduos sólidos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região. Para o cálculo da taxa de geração per levou-se em conta os resíduos sólidos domiciliares/comerciais/públicos coletados nos anos de 2014 e 2015. Assim as 21.091,24 toneladas mensais geradas, resultam uma taxa per capita de 0,892 kg/hab.dia, que são coletadas através de um percurso de 104.520,55 km. Ao dividir o percurso pela quantidade de resíduos coletados verifica-se que o município possui uma taxa de eficiência de coleta de 4,95 km/tonelada, que pode variar a depender da densidade demográfica do local e do tipo do resíduo.

Conforme com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), a geração total e per capita dos resíduos sólidos nem sempre apresenta resultados condizentes, variando a depender da característica local, principalmente às relacionadas ao crescimento populacional e econômico da região. Também deve-se deixar esclarecido quais os tipos de materiais estão sendo considerados a fim de que possam ser verdadeiramente analisados. No caso da presente pesquisa estão sendo considerados os resíduos sólidos urbanos domiciliares, comerciais e públicos, não sendo considerados, portanto, os resultantes da poda, da construção civil e de serviços de saúde.

Para fins de compreensão acerca das características e comportamentos das rotas tecnológicas é importante ter-se em mão os quantitativos gravimétricos da localidade estudada. Assim, após a análise dos quantitativos dos resíduos, também são analisadas suas características gravimétricas. O conhecimento da composição dos resíduos sólidos do município delinea a escolha das possíveis formas de tratamento de acordo com a identificação de possível agente poluidor e da sua origem. Os dados gravimétricos apresentados nesta secção são provenientes de caracterização realizada no ASMJP acerca dos RSU de João Pessoa para fins de controle e planejamento da EMLUR.

A figura 02 faz um panorama geral acerca da gravimetria de resíduos domiciliares do município de João Pessoa.

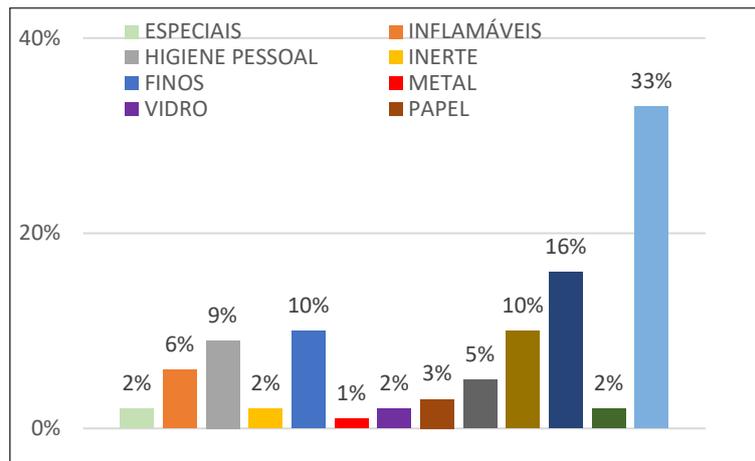


Figura 2: Composição da massa de resíduos de João Pessoa em percentuais 2016

Pela composição gravimétrica realizada em João Pessoa, observa-se que a maior parte dos resíduos são orgânicos, provenientes de restos de comidas e preparo de alimentos. Nesta gravimetria os resíduos do tipo verde, compostos por todo tipo de vegetação e sementes encontrada na massa caracterizada, são considerados um componente a parte, e também são bem representativos. Vale salientar que João Pessoa, é muito conhecida pelo seu verde abundante, além ser uma capital litorânea a qual possui um grande consumo de coco. Os plásticos, materiais finos e de higiene pessoal, também são bem representados na massa de resíduos pesquisada no ASMJP, Figura 2.

Fazendo uma análise mais específica, buscando elementos de planejamento da coleta seletiva, juntaram-se os materiais recicláveis, os orgânicos aos verdes e os demais na categoria “outros” e obteve-se o resultado na Figura 3.

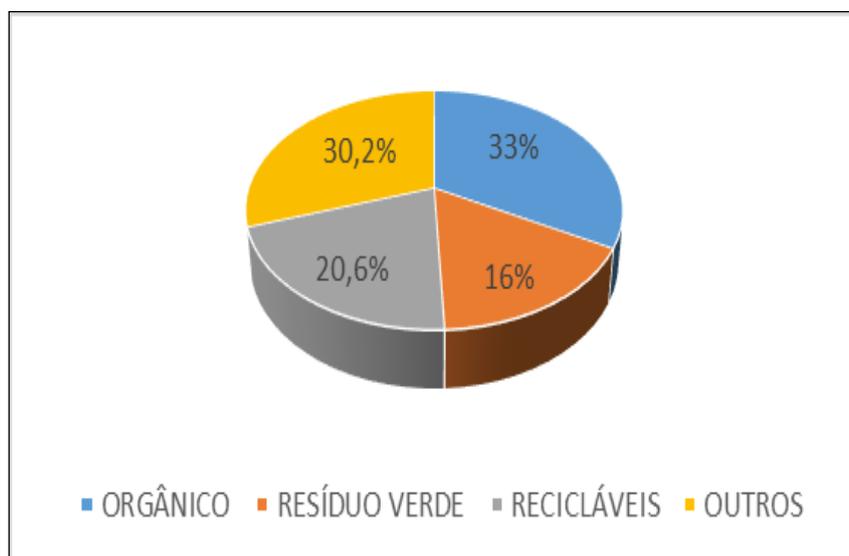


Figura 3: Gravimetria de João Pessoa com base na coleta e separados os recicláveis dos orgânicos

Pela Figura 3 pode-se concluir que o município tem um bom potencial para reciclagem, uma vez que 20,60% dos seus resíduos são compostos por materiais aceitos pela indústria da reciclagem. E esses materiais recicláveis compõem um outro componente da rota tecnológica de João Pessoa, os que são coletados pela coleta seletiva e encaminhados aos galpões de triagem para posterior comercialização.

### **Rota Tecnológica Seletiva**

Para fins de estudo das rotas tecnológicas de João Pessoa, fez-se uma ampla pesquisa acerca da Coleta Seletiva que é o componente de tratamento físico da rota RTS.

Em busca de dados que propusessem o diagnóstico da Coleta Seletiva do município de João Pessoa, foram visitados todos os galpões de triagem, apoiados pela EMLUR e coletadas as informações conforme preparadas no roteiro de entrevista. As informações levantadas permitiram compor um cenário acerca da realidade dessa atividade em João Pessoa, suas divisões operacionais, equipes de trabalho, custos, produções e rendimentos.

Segundo PMGIRS no município de João Pessoa há quatro associações de catadores de resíduos: Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (ASTRAMARE), Associação de Catadores de Resíduos de João Pessoa (ASCARE-JP), Acordo Verde e Catajampa. Todas são sociedades civis sem fins lucrativos, não sujeitas à concordata ou falência, constituídas para prestar serviços aos seus cooperados. Pode-se dizer que se tratam de sociedade autônoma, com características de microempresa de seleção e comercialização de materiais recicláveis regida pela Lei Federal nº 5.764 que regulamenta o funcionamento do cooperativismo (JOÃO PESSOA, 2014b).

Dos sessenta e quatro bairros existentes no município de João Pessoa, vinte (20) são contemplados com o programa de coleta seletiva. Além das unidades mencionadas, ainda existem as unidades de triagem do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, gerida pelo mesmo e pela EMLUR e operada pela ASTRAMARE, e a unidade da CATAJAMPA, que não possui núcleo formalizado na EMLUR, sendo os materiais armazenados nas residências dos associados no bairro de Mandacaru. Para fins de estudo da operacionalização de cada núcleo da coleta seletiva, buscou-se informações acerca dos associados de cada núcleo. O resultado segue no Quadro 2.

Quadro 11 - Número de Associados por Núcleo de Triagem da Coleta Seletiva de João Pessoa

<b>Núcleos de Coleta</b>	<b>Administração</b>	<b>Número de Associados</b>
Núcleo de Coleta do Bessa	ASCARE-JP	11
Núcleo de Coleta do Cabo Branco	ASCARE-JP	12
Núcleo de Coleta de Mangabeira	ACORDO VERDE	18

Núcleo de Coleta do Jardim Cidade Universitária	ACORDO VERDE	16
Núcleo de Coleta do Aterro Sanitário	ASTRAMARE	85
Núcleo de Coleta do Bairro dos Estados	ASTRAMARE	11
Núcleo de Coleta do Roger	-	10
Mandacaru*	CATAJAMPA	6
Total		169

O Quadro 1 mostra atuação da força de trabalho direta na coleta seletiva de Joao Pessoa. Observa-se que para município com 787.363 habitantes tem-se 169 agentes de coleta seletiva, há uma proporção de 4.658,95 habitantes para cada agente de coleta.

A área do município de João Pessoa é de 18.860,40 ha, considerando a área dos bairros participantes, calcula-se a proporção da área do município coberta pela coleta seletiva desses bairros (Tabela 2).

Tabela 2 - Cobertura da Coleta Seletiva no município e nos lotes da pesquisa

População Atendida pela Coleta Seletiva	Cobertura da Coleta Seletiva relacionada à população do Município (%)	Área coberta pela Coleta Seletiva (ha)	Área Total (ha)	Cobertura da Coleta Seletiva relacionada à área do Município (%)
158.437	20%	3.877,30	18.860,90	21%

A área total de cobertura da coleta seletiva no município de João Pessoa é 3.877,30 hectares o que representa 20,56% da área total do município. O percentual de atuação da coleta seletiva sobre a população é de 20%, uma vez que a mesma atende a 158.437 habitantes (Tabela 2).

Os materiais provenientes da coleta seletiva de João Pessoa têm como destino a indústria da reciclagem e os rejeitos ao aterro sanitário. Com vistas a compor os fluxos de massa e custo da coleta seletiva, assim como, conhecer o potencial de reciclagem e a eficácia da mesma, foram pesquisados na EMLUR e nos núcleos, os quantitativos de massa e os custos operacionais do sistema.

### **Destinação e Disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de João Pessoa**

Após serem coletados nas fontes geradoras os resíduos domiciliares/comerciais/públicos são encaminhados ao ASMJP, que com a desativação do Lixão do Roger em 2003, foi inaugurado e posto em operação no dia 05 de agosto do mesmo ano. A operação do ASMJP está prevista para durar vinte e um (21) anos, sendo composta por 24 (vinte e quatro) células (RSU), 5 células especiais, células para Resíduos de Saúde, células para rResíduo Industrial, um viveiro de mudas para reflorestamento,

escritórios, vias de acesso, laboratório, alojamentos, galpão de triagem de resíduos recicláveis e oficina. Para o aterro também são encaminhados os rejeitos resultantes dos processos de triagem nos diversos galpões de coleta seletiva do município.

Logo na entrada do aterro há uma unidade de triagem, a maior do município, cuja gestão envolve interesses diversos, catadores, a EMLUR, a PMJP e os gestores do ASMJP. De acordo com o Relatório de Monitoramento do Aterro Sanitário (2015) foi feita uma análise geral acerca dos materiais encaminhados para o galpão de triagem do aterro a fim de obter-se o percentual de aproveitamento da coleta seletiva com relação a coleta convencional (Tabela 3).

Tabela 3 - Resíduos da Central de Triagem em relação ao total pesado no Aterro Sanitário

ANO	Coletados pela Coleta Convencional	Núcleos da Coleta Seletiva		Galpão de Triagem		Total da Coleta Seletiva	Percentual de Aproveitamento da Coleta Seletiva em massa
	(t)	(t)	%	(t)	%	(t)	%
2010	220.818,00	1.179,36	0,53	2.338,00	1,06	3.517,36	1,59
2011	260.963,00	935,66	0,36	1.611,00	0,62	2.546,66	0,98
2012	239.441,00	865,24	0,36	1.806,00	0,75	2.671,24	1,12
2013	238.263,44	1.325,11	0,56	2.101,09	0,88	3.426,20	1,44
2014	242.961,81	1.929,26	0,79	1.997,52	0,82	3.926,78	1,62
2015	243.999,10	1.457,82	0,60	1.595,71	0,65	3.053,53	1,25
<b>TOTAL</b>	<b>1.446.446,35</b>	<b>7.692,45</b>	<b>0,53</b>	<b>11.449,32</b>	<b>0,79</b>	<b>19.141,77</b>	<b>1,32</b>

Analisando os percentuais calculados (Tabela 3), percebe-se que por mais que exista um investimento da Prefeitura para manter o programa de coleta seletiva, a maior parte dos resíduos recicláveis de João Pessoa são os da Central de Triagem, que em 2010, eram quase 100% a mais que a quantidade de resíduos comercializada pelos Núcleos da Coleta Seletiva. A medida que os catadores conseguem atingir a um maior número de adesões, esse percentual vai caindo e chega a 9,45% em 2015. Na Tabela 3 estão expressos os percentuais dos resíduos coletados nos núcleos dos bairros e do galpão aterro, em relação ao total de resíduos domésticos/comerciais coletados pela coleta convencional. Ao serem somados todos os materiais absorvidos pela coleta seletiva no município alcança-se uma média de 1,32% com relação ao total captado pela coleta convencional.

Santos et al. (2012) afirmam que no Brasil, a prestação do serviço de coleta seletiva pelos municípios ainda é incipiente. Para os autores, existem algumas experiências bem sucedidas em municípios brasileiros, mas na maior parte são programas com baixa abrangência, pontuais em escolas, ou às vezes, apenas pontos de entrega voluntária, que não funcionam efetivamente.

Como já apresentado na análise gravimétrica, o município de João Pessoa possui potencial de reciclagem de 20,60%, a ineficiência do sistema é, provavelmente, por questões administrativas e operacionais, inclusive por parte das associações. Esse valor representa o percentual de resíduos do município que são aceitos pela indústria da reciclagem. A retirada desse material do aterro sanitário e sua devida absorção pela Coleta Seletiva traz vantagens sob vários aspectos, ambientais, sociais e econômicos.

A questão social da expansão programada da coleta seletiva, sempre é benéfica, principalmente quando se tem investimento da prefeitura sem cobrar contrapartida. Do ponto de vista ambiental, conseguirá aumentar a vida útil do ASMJP por meio da redução de resíduos (não rejeitos) aterrados indiscriminadamente. Bovea et al (2012) colocam que a evolução e a otimização do processo de coleta seletiva é um parâmetro fundamental para melhorar o comportamento ambiental de um sistema de gestão de resíduos.

Segundo o PMGIS o sistema integrado de destinação final dos resíduos sólidos proposto para a área metropolitana de João Pessoa – PB prevê a disposição de receber 1100t/dia dos resíduos sólidos urbanos no primeiro ano, até absorver a produção gerada em 21 anos, que é prevista para 8.431.500 toneladas (JOÃO PESSOA, 2014b).

Expandindo a coleta seletiva em 20,60%, essa média diária de aterramento cai para 896,15 toneladas por dia por meio da destinação final ambientalmente correta de 232,50 toneladas por dia, ou seja, as 2.423.046,97 toneladas só serão alcançadas em 8,03 anos.

A identificação de rotas tecnológicas em análises de modelos de gestão torna mais simples o sistema e a montagem de estratégias a serem estudadas em processo decisório. É, portanto, um caminho de soluções que envolve várias dimensões, explora técnicas diversas e relevantes.

### **Propostas de Rotas Tecnológicas para o Município de João Pessoa/PB**

A viabilidade das técnicas de tratamento e disposição final das rotas tecnológicas requer o conhecimento da situação local, aspectos sócio, culturais e econômicas da população, tecnologias de tratamento aplicadas e legislação vigente. O processo consiste em confrontar as tecnologias identificadas com os mercados acerca de seus produtos. Ademais em assim procedendo também há de ser seguido o preconizado pela PNRS nos seus objetivos, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; e nos seus princípios quando prega a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, considerando as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública. Importa notar que o sistema aqui proposto trata de uma recomendação a qual merece que sejam feitos estudos protótipos e de viabilidade, que, todavia, não fazem parte desse levantamento.

Jucá et al (2014) recomendam que identificação de rotas tecnológicas em análises prospectivas facilita o entendimento e a comunicação de estratégias, objetivos e ações prioritárias a serem analisadas por um gestor durante um processo decisório. A sugestão de rotas tecnológicas para a gestão de RSU no município segue o direcionamento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, tendo como sugestão a busca de novas fontes de financiamento da gestão de resíduos sólidos, afinal esse novo marco regulatório traz responsabilidades que devem representar aumento dos custos de limpeza urbana quando obrigada a regularização da disposição final dos resíduos, a recuperação dos mesmos, o aproveitamento energético e do biogás dos aterros.

As modificações nas rotas tecnológicas do município devem atender as condições financeiras, técnicas e operacionais. Diante do exposto, entende-se que um cenário adequado para as características do município estudado, é o da consolidação da coleta convencional indiferenciada, a expansão da coleta seletiva e a inserção de novas tecnologias, como a implantação de uma usina de compostagem e utilização de algumas células do aterro para a biometanização através de biodigestores, sempre seguindo a hierarquia dos 3R's (reduzir, reciclar e reutilizar), para posteriormente realizar tratamentos, físico, químico e biológico ou térmico, e o devido aterramento dos rejeitos. Assim, após análise técnica, econômica e ambiental da gestão dos RSU do município de João Pessoa, seguem as propostas de rotas tecnológicas desenvolvidas por esse estudo.

Na Figura 4 está apresentada uma rota tecnológica similar ao existente na atual conjuntura, alguns bairros participantes da coleta seletiva colaboram com a reciclagem. Os resíduos que são coletados pela coleta indiferenciada seguem para o aterro sanitário e lá não passam por nenhuma tecnologia.

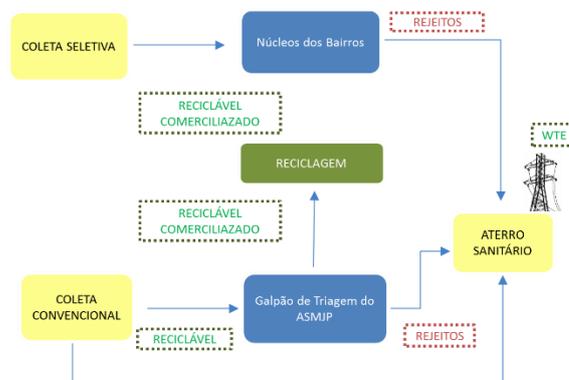


Figura 4: Rota tecnológica de tratamento e disposição final com aproveitamento de biogás Proposta 1

Na Figura 4 percebe-se que a proposta 1 é a instalação de uma usina de aproveitamento energético, com captação do biogás e geração de energia. Esta tecnologia visa mitigar os gases oriundos da decomposição dos resíduos e destiná-los a fins diversos que não seja a emissão desordenada para a atmosfera. Para Henriques, Oliveira e Costa (2004) é tecnicamente viável reduzir as emissões de metano de aterros sanitários a aproximadamente 50% das emissões geradas, sendo a maior parte também economicamente viável devido à proximidade dos aterros aos grandes centros urbanos. Para o caso em estudo o aterro sanitário é localizado a menos de 25 quilômetros do centro urbano do município de João Pessoa e está inserido no seu distrito industrial.

Em paralelo, sugere-se a criação e o estabelecimento de políticas que enfoquem o princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), e, assim, implementar as políticas já desenvolvidas em benefício a reciclagem. A eficiência da gestão de RSU está relacionada ao sucesso de mecanismos de conscientização da população e de instrumentos de comando e controle que conduzam a penalidades pelo descumprimento do estabelecido na legislação reforçados pela atuação de agentes fiscalizadores.

Outro aspecto relevante é que a opção de tratamento térmico como aproveitamento energético não é confrontada com a opção da triagem, reuso, reciclagem (princípio dos 3R's), pois as prioridades estabelecidas nas políticas públicas orientam para, primeiramente separar os resíduos que podem ser reaproveitados e reciclados (valorização física e biológica), e posteriormente, encontrar soluções tecnológicas adequadas para o tratamentos dos resíduos que não foram aproveitados, sempre buscando sua valorização energética (JUCÁ et al, 2013, p. 63).

Para os autores supra citados algumas políticas internacionais estabeleceram uma hierarquia para gestão dos resíduos, de tal forma que foram maximizados seu aproveitamento (energia e materiais) e minimizados seus impactos ambientais. Os termos “Waste to Energy (WTE)”, Energia Derivada dos Resíduos, “Waste to Resource (WTR)”, Recuperação dos Resíduos, entre outros, surgiram destas políticas protagonizadas pelos Governos dos EUA, Japão ou União Europeia (UE) (JUCÁ et al, 2013). A Energia Derivada dos Resíduos ou WTE evoluiu do “Gás do Lixo” que era apenas percebido, e algumas vezes, eliminado sem precauções devido às suas consequências na operação dos lixões ou aterros controlados.

Para a EPE (2008) a produção máxima de metano é alcançada pouco tempo após a deposição do material, seguida de decaimento exponencial, mais lento ou mais rápido dependendo do material. A quantidade de metano produzida até a decomposição total corresponde, em peso, a cerca de 5% dos restos de alimentos depositados em aterro e a 13,5% da quantidade de madeira. Para os têxteis, a relação é de 8%. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2008, p. 23).

A aplicação de qualquer tecnologia sugerida requer o balanço entre a oferta de insumos (resíduos) e demanda do processo a ser instalado, não há como instalar uma usina de aproveitamento

energético de biogás se o produto resultante dessa usina não condiz com o a necessidade mercadológica da energia/biogás.

A proposta dessa rota é promover soluções de prevenção na geração dos resíduos, universalizar a coleta regular, induzir a separação e incentivar alternativas que produzissem um maior valor agregado aos resíduos gerados pela sociedade e, por fim, dar uma destinação final ambientalmente adequada aos rejeitos com o aproveitamento energético dos gases gerados na decomposição dos resíduos.

Para Jucá et al (2013) as tecnologias de tratamento devem ser complementares, não sendo recomendada a proposição ou implantação de tecnologias que não se complementem, apesar de recomendáveis individualmente. Essa observação feita pelos autores evidencia a importância de estudos acurados acerca das especificidades dos resíduos, da oferta e demanda dos produtos resultantes do processo de tratamento, além da viabilidade econômica. A Figura 5 mostra a segunda proposta de rotas tecnológicas para o município a qual acolhe essa observação, acolhendo a junção da reciclagem com a compostagem sem aproveitamento energético.

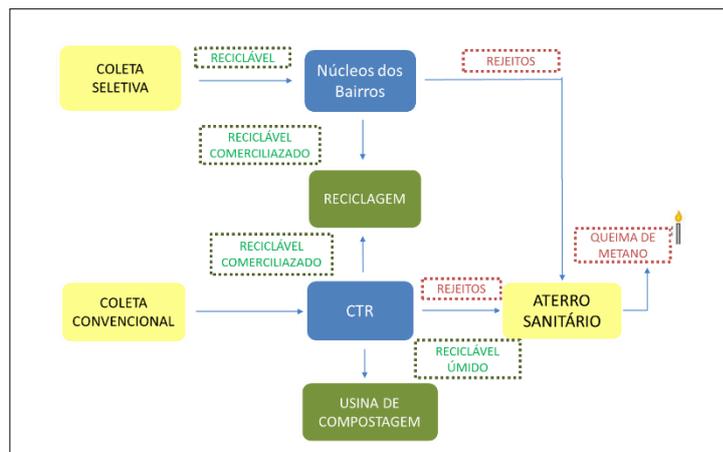


Figura 5: Rota tecnológica de tratamento e disposição final com implantação de uma CTR sem aproveitamento de biogás (Proposta 2)

Na Figura 5 nota-se a criação de uma Central de Tratamento de Resíduos onde se estabeleça a implantação de processos mecânico-biológicos que otimizem a recuperação dos resíduos orgânicos e inorgânicos por meio de uma preparação dos materiais que serão beneficiados através da compostagem e da reciclagem. Na CTR são aplicadas estratégias que permitam a valorização do material compostado e reciclável e diminuam a quantidade de resíduos a serem encaminhados ao aterro.

Entre os vários aspectos positivos da reciclagem destacam-se a preservação de recursos naturais, economia de energia, geração de trabalho e renda, e conscientização da população para as questões ambientais.

A reciclagem depende da economia local e do mercado de cada um dos materiais triados. O custo do beneficiamento da maioria dos materiais recicláveis ainda é considerado elevado em relação ao custo de matéria-prima virgem. Sua importância está relacionada à redução do uso de recursos naturais e insumos nos processos industriais, contemplando uma inovação tecnológica denominada “Recuperação de Materiais” (Waste To Resources-WTR) (JUCÁ et al, 2014, p. 48).

Para os autores as unidades de triagem evoluíram para um tratamento mecânicos-biológicos (TMB), cujos produtos são matéria-prima para reciclagem de inorgânicos e compostos orgânicos para a compostagem ou a digestão anaeróbia.

Como busca-se a redução do encaminhamento da matéria orgânica ao aterro com a instalação de composteiras, não se empregou a tecnologia de aproveitamento energético – WTE no aterro sanitário. Mas fica o registro que em várias pesquisas sobre a gestão dos resíduos na Europa a orientação é a redução ao máximo do uso do aterro sanitário. Reduzir a fração de resíduos que é enviada para aterros é um dos objetivos da nova legislação espanhola relativa aos resíduos sólidos (BOVEA et al, 2010).

Gomes, Aquino e Colturato (2012) afirmam que o principal aspecto negativo dos aterros sanitários é que, mesmo com os sistemas de coleta e queima do biogás gerado, uma parcela significativa deste gás não é captada pelo sistema, sendo então emitida para a atmosfera. Sob esse aspecto os autores relatam a justificativa pelo qual foi aprovada a Diretiva Europeia 1999/31/CE que estabelece restrições na disposição de materiais orgânicos em aterros sanitários, obrigando os países membros da comunidade europeia a buscarem formas eficazes para o tratamento da fração orgânica dos RSU. Logo após Diretiva Europeia a Índia também aprovou a legislação The Indian Municipal Solid Waste (GOVERNMENT OF INDIA, 2000), a qual estabelece a obrigatoriedade da segregação dos resíduos na fonte de geração e proíbe a disposição em aterros sanitários de resíduos orgânicos, exigindo que a fração orgânica receba algum tipo de tratamento biológico adequado (VOEGELI; ZURBRÜGG, 2008).

Após audiências públicas, a versão do Plano Federal de Resíduos Sólidos disponibilizada na internet em fevereiro de 2012 apresenta até três cenários para o atendimento das metas estabelecidas, que envolvem a recuperação de lixões, a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos em todos os Municípios, a redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterros e inclusão de catadores, a redução dos resíduos sólidos úmidos em aterros e recuperação de gases em aterros, etc (BRASIL, 2012).

A Figura 6 mostra a terceira proposta de rotas tecnológicas para o município.

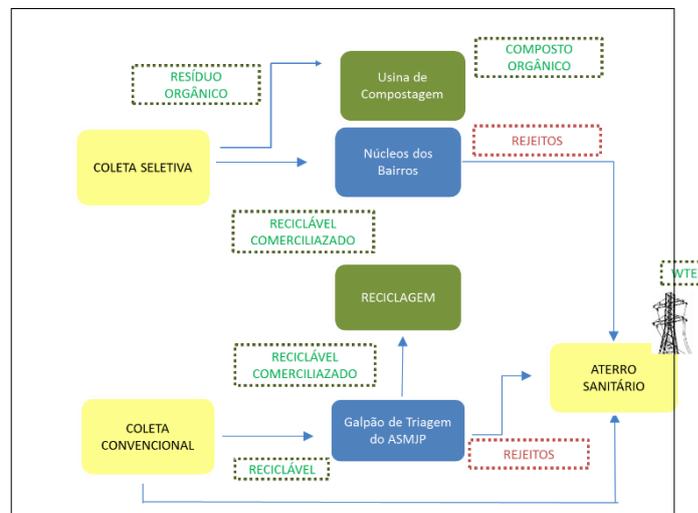


Figura 6: Rota tecnológica de tratamento e disposição final com implantação de uma CTR sem aproveitamento de biogás (Proposta 3)

Na Figura 6 tem-se a demonstração da terceira proposta de rotas tecnológicas no qual propõe-se a adequação do atual sistema de coleta seletiva ou criação de um sistema de coleta que efetua a busca dos resíduos orgânicos. Esses resíduos devem ser encaminhados a uma central de compostagem.

A proposta de expansão da coleta seletiva merece uma atenção especial dos gestores. Sabe-se que o sistema de coleta seletiva atuante no município de João Pessoa é exercido por associações de (ex) catadores com algum apoio da EMLUR. No entanto, isso não garante a eficiência da recuperação de materiais recicláveis/compostáveis, pois para os melhores resultados de coleta seletiva há a necessidade de um planejamento integrado e eficiente que garanta a participação da população e assegure o sucesso das iniciativas de reciclagem dos materiais. Afinal, como lembra Jucá et al (2014) “é sabido que as cooperativas de ex-catadores de lixões vêm apresentando problemas de natureza operacional, gerencial, econômica e política.” Assim sendo, não se pode entregar a gestão e o gerenciamento da coleta seletiva às associações ou cooperativas.

Em João Pessoa, como já apresentado tem-se uma geração de 49% dos RSU de matéria orgânica o que viabiliza a escolha da tecnologia de compostagem para formação das novas propostas da pesquisa. Apesar desse montante, as ações de compostagem ainda são incipientes no município, seja pela falta de demanda no mercado, seja pela baixa qualidade do produto nacional atualmente.

É importante salientar, que a consideração das tecnologias de compostagem em uma rota pressupõe uma etapa prévia de coleta de material pré-selecionado, que implicaria em uma coleta

especial. Levando-se em conta as dificuldades financeiras dos municípios, a implantação de uma coleta seletiva de materiais recicláveis e outra específica para os resíduos orgânicos é impeditiva para a quase totalidade dos municípios brasileiros (JUCÁ et al., 2014, p. 158).

Para Jucá et al (2014) a adoção de determinada forma de tratamento implica na separação prévia dos resíduos, com base em coleta diferenciada, sem a qual não haverá resultados efetivos do tratamento ou do sistema. A intenção é que nas unidades de triagem que recebem resíduos que já passaram por um processo de segregação (mesmo que caseiro) forneçam às indústrias recicladoras um resíduo segregado, limpo e beneficiado, aumentando a eficiência dos processos. Deste modo, a adoção de unidades de triagem pelos municípios contribui diretamente para a melhoria do saneamento básico e indiretamente para a redução do consumo de matéria-prima e da poluição ambiental na produção do material secundário.

Importante considerar que os compostos produzidos devem apresentar qualidade que os considerem como nutrientes para solo. As usinas de compostagem têm que atender a demanda existente, assim como promover uma continuidade na entrada dos resíduos, além de proporcionar o acompanhamento dos fatores que regem a compostagem no pátio. Existem diversos equipamentos para reciclagem orgânica que compõem uma usina de compostagem de forma a manter a qualidade do composto.

Ao lado dos evidentes benefícios ambientais, sanitários e sociais gerados pela compostagem, na proposição de rota tecnológica 3, também há o aproveitamento energético dos RSU que já é considerada uma tecnologia madura pela Empresa de Pesquisa Energética (2008).

A tecnologia de aproveitamento do gás de lixo (GDL), ou biogás produzido nos aterros (landfill gas), é o uso energético mais simples dos RSU. É uma alternativa que pode ser aplicada a curto e médio prazos para os gases produzidos na maioria dos aterros já existentes, como ocorre em centenas de aterros de diversos países. Consiste na recuperação do biogás oriundo da decomposição anaeróbica da fração orgânica de RSU, por ação de microorganismos que transformam os resíduos em substâncias mais estáveis, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água, metano (CH<sub>4</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), mercaptanas e outros componentes (NMOCs - non methane organic compounds) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2008, p. 35).

Esse aproveitamento energético reduz as emissões de metano e ao mesmo tempo promove economia de energia. Em instalações já consolidadas pode haver a receita pela comercialização da energia não utilizada e/ou de créditos de carbono, além do benefício ambiental.

Na Figura 7 mostra-se a quarta proposta de rota tecnológica.

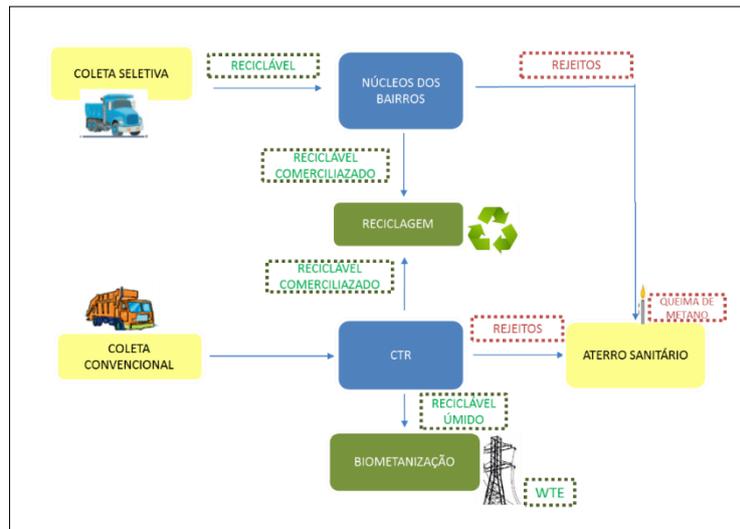


Figura 7: Rota tecnológica de tratamento e disposição final com implantação de uma CTR com instalação de uma usina de biometanização com aproveitamento de biogás (Proposta 4)

Mostra-se na Figura 7 a forma mais evoluída do tratamento biológico, a digestão anaeróbia acelerada associada a aproveitamento energético. O tratamento biológico evoluiu com técnicas de compostagem mais eficientes, além dos biodigestores anaeróbios que produzem compostos orgânicos e até adubos, quando são introduzidos componentes químicos. Além disso, os biodigestores anaeróbios podem produzir energia através do metano gerado no processo de decomposição dos resíduos orgânicos.

As unidades de digestão anaeróbia, em geral, podem ser descritas tecnicamente em quatro estágios:

- pré-tratamento,
- digestão dos resíduos,
- recuperação do biogás e
- tratamento dos resíduos digeridos.

A grande vantagem da biometanização é a possibilidade de aliar a adoção de práticas ambientalmente adequadas na gestão dos RSU e a recuperação do potencial energético dos resíduos, fomentando a implantação de sistemas alternativos de gerenciamento dos RSU.

Como a maioria dos sistemas requer pré-tratamento dos resíduos para se obter uma massa homogênea, propõe-se o uso de uma CTR onde se executa pré-processamento que envolve a separação dos materiais não biodegradáveis os quais seguirão para serem triturados e também a triagem de material recicláveis e inservíveis (metais e materiais inertes) que devem ser retirados do processo de forma a não comprometer os resultados do composto e do aproveitamento energético.

Esse processo geralmente utiliza a tecnologia do tratamento mecânico-biológico na qual o RSU é submetido a processos manuais e mecanizados de triagem para recuperação de materiais recicláveis e tratamento da fração orgânica dos resíduos.

A eficiência do processo de biometanização não é somente decorrente do sucesso do equipamento, reator, nela também influenciam fatores ambientais como temperatura, pH, carga orgânica aplicada, entre outros. Juntamente a isso, a eficiência da biometanização depende da dinâmica microbiana, pois são os micro-organismos os responsáveis diretos pelo funcionamento do sistema anaeróbio (BIANCO et al, 2015). Quanto a viabilidade econômica Jucá et al (2014) conferem alguns fatores como favoráveis: a redução dos custos de disposição em aterro sanitário; geração de receita pela venda de energia renovável e ainda a possibilidade de comercialização de créditos de carbono.

A digestão anaeróbica se consolidou como tratamento biológico para a massa orgânica dos resíduos. Segundo De Baere (2006) quase 4 milhões de toneladas por ano em capacidade de digestão foi instalado através da construção de mais de 120 plantas em grande escala. O autor atribui que os fracassos se deram devido ao mau planejamento, inclusive financeiro, design e funcionamento.

Em 1990, a Europa dispunha de apenas 3 plantas industriais para a biometanização de resíduos orgânicos, provendo uma capacidade instalada de 87.000 t.ano<sup>-1</sup>. Em 2009 existiam 171 plantas, tendo sido estimado para o final de 2010, uma capacidade total instalada de 5.204.000 t.ano<sup>-1</sup>, o que representaria um acréscimo de quase 6.000% em um período de 20 anos (DE BAERE, 2006).

Para Bianco et al (2015) a biometanização facilitaria a adequação dos municípios brasileiros à Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída em 2010, a qual prioriza o não aterramento da fração orgânica e a recuperação energética dos resíduos. Vários aspectos atrapalham a implantação da tecnologia para tratamento de resíduos orgânicos no Brasil,

[...] ausência do hábito de separação dos resíduos na fonte, bem como da implantação de coleta seletiva na maioria dos municípios; inexistência de uma configuração de tratamento anaeróbio adaptada às condições brasileiras; longo tempo de estabilização dos resíduos pelo processo anaeróbio quando comparado com o aeróbio e restrito conhecimento quanto à partida, operação e controle do sistema (BIANCO et al, 2015).

Vale a reflexão de que enquanto a digestão aeróbia (compostagem) é uma consumidora de energia elétrica (50 a 75 kwh/tonelada), a digestão anaeróbia (biometanização) pode gerar (48 a 104 kwh/tonelada) com uma eficiência de 31% (HENRIQUES; OLIVEIRA; COSTA, 2004). A biometanização recupera energia, reduz uso de combustíveis fósseis e emissão de gases do efeito estufa, retornam nutrientes ao solo, além de fornecerem créditos de carbono.

**5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Como visto, o município de João Pessoa possui duas rotas tecnológicas, RTS e RTC, as quais têm como componentes a geração de resíduos, as coletas seletiva e convencional, a triagem nos galpões dos bairros e do aterro, a reciclagem e a destinação final no aterro sanitário.

A rota tecnológica da coleta indiferenciada do município está formulada de acordo com os percursos da coleta convencional que cobre, segundo o PMGIRS em João Pessoa (2014), noventa e seis por cento do município. Partindo da geração dos resíduos nas residências, comércios, mercados públicos e feiras livres, as coletas indiferenciadas (convencional) e a diferenciada (seletiva) formalizam o início da Rota Tecnológica. A coleta convencional tem como destino final o ASMJP. Os resíduos de alguns caminhões (4,73%), após passarem pela balança na entrada do aterro, são interceptados para serem triados em uma unidade de triagem da Associação dos Trabalhadores de Materiais Recicláveis – ASTRAMARE, que se localiza na área do aterro, os rejeitos seguem para a célula em operação e os recicláveis para a indústria. A Coleta Seletiva compõe a etapa da Rota Tecnológica que fornece o único tratamento disponibilizado no município de João Pessoa para os RSU. Ao todo, 20,12% da população da capital recebe cobertura da coleta seletiva.

Da coleta convencional os resíduos seguem para o aterro sanitário que também recebe os rejeitos dos galpões de triagem do aterro e da coleta seletiva. A quantidade de resíduos a ser tratada e disposta influi no porte e no tipo das unidades a serem instaladas, por isso um primeiro parâmetro a ser considerado na decisão de investir em uma determinada tecnologia de tratamento, e consequente determinação de rotas tecnológicas para um determinado município, é a sua massa de resíduos. Assim, foi determinada a massa de resíduos domiciliares/comerciais/públicos de João Pessoa, através de uma série histórica mensal de dois anos, 2014 e 2015, os quais apresentam uma média de 20.333,26 toneladas por mês. A geração per capita de resíduos sólidos urbanos domiciliares/comerciais/públicos de João Pessoa foi calculada em 0,89 kg/hab\*dia.

Outras considerações merecem destaque neste trabalho, como a relação direta do tamanho do percurso e a quantidade de resíduos coletada. Para a coleta convencional dos resíduos são percorridos mensalmente 104.520,55 quilômetros, que geram uma taxa de 5,14 km/tonelada para a coleta de resíduos sem qualquer forma de tratamento. Após análise dos quantitativos dos resíduos, também são analisadas suas características gravimétricas. O conhecimento da composição dos resíduos sólidos do município delinea a escolha das possíveis formas de tratamento de acordo com a caracterização do agente poluidor sobre sua origem e geração.

Para fins de estudo da rota tecnológica de tratamento e disposição final de João Pessoa, fez-se uma ampla pesquisa acerca da Coleta Seletiva que é o componente de tratamento físico da rota. Assim, foram coletados dados que propusessem o diagnóstico da coleta seletiva do município de João

Pessoa. As informações levantadas permitiram compor um cenário acerca da realidade dessa atividade no município, suas divisões operacionais, equipes de trabalho, custos, produções e rendimentos.

A equipe de atuação da coleta seletiva de Joao Pessoa ainda é muito incipiente, um município com 787.363 habitantes conta com apenas 169 agentes de coleta seletiva, com uma proporção de 4.658,95 habitantes para cada agente de coleta. A área do município de João Pessoa é de 18.860,40 ha, considerando a área de cobertura da coleta seletiva nos dos bairros participantes de 3.877,30 hectares, tem-se a proporção da área do município coberta pela coleta seletiva, que representa 20,56% da área total do município.

Assim, após análises técnica e ambiental da gestão dos RSU do município de João Pessoa, foram levantadas propostas de rotas tecnológicas com técnicas de tratamento e disposição final conforme a situação local, aspectos sócio, culturais e econômicas da população, tecnologias de tratamento aplicadas e legislação vigente. O estudo consistiu em confrontar a rota tecnológica existente com possíveis tecnologias identificadas para o perfil do município. Ademais em assim procedendo também há de ser seguido o preconizado pela PNRS nos seus objetivos, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; e nos seus princípios quando prega a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, considerando as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública.

Diante do exposto, conclui-se que um cenário adequado para as características do município estudado, é o da consolidação da coleta convencional indiferenciada, a expansão da coleta seletiva e a inserção de novas tecnologias, como a implantação de uma usina de compostagem e utilização de algumas células do aterro para a biometanização através de biodigestores, sempre seguindo a hierarquia dos 3R's (reduzir, reciclar e reutilizar), para posteriormente realizar tratamentos, físico, químico e biológico ou térmico, e o devido aterramento dos rejeitos. São as tecnologias que serão implementadas nas propostas das rotas tecnológicas desse estudo. Importa ressaltar que o sistema a ser proposto trata de uma recomendação a qual merece que sejam feitos estudos protótipos e de viabilidade, que, todavia, não fazem parte desse levantamento.

## REFERÊNCIAS

1. ALVES-MAZZOTI, Alda Judith; GEWANDSZNAJDER, Fernando. *O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa*. 2 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

2. BIANCO, Carolina Ibeli et al . *Caracterização da comunidade de procariotos atuante no processo de biometanização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (CBESA), 28. Rio de Janeiro/RJ. Out. 2015. Anais... Rio de Janeiro, 2015.
3. BOVEA, Maria Dolores. *Evolution of Environmental Performance in Waste Management in João Pessoa-Paraíba-Brazil*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE PROYECTOS. Valencia, 11-13 de jul. 2012. Anais... Valencia, 2012.
4. \_\_\_\_\_. *Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study*. *Waste Management*, v. 30, n. 11, p. 2383-2395, 2010.
5. BRASIL. Instituto de Política Econômica Aplicada (IPEA). *Comunicados do IPEA. Comunicado nº 60 - Desigualdade da renda no território brasileiro*. Brasil, 2010a. 17p.
6. \_\_\_\_\_. Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo*. Brasília, DF, 2 agosto de 2010c. Disponível em:<lei/112305.htm.> Acesso: 17 out. 2011.
7. \_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 2012*. Versão após Audiências e Consultas Públicas para Conselhos Nacionais. MMA [Ministério do Ambiente]. Disponível em:<[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/E99F974D/Doc\\_PNRS\\_consultaspublicas1.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/E99F974D/Doc_PNRS_consultaspublicas1.pdf)>. Acessado em: outubro de 2013. Acesso em: 17 dez. 2016.
8. DE BAERE, L. *Will anaerobic digestion of solid waste survive in the future?*. *Water science and technology*, v. 53, n. 8, p. 187-194, 2006.
9. DMITRIJEVAS, C. (2010). *Análise de Ecoeficiência de Técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos*. 131 f. *Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais)* – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo
10. GOMES, Felipe Correia de Souza Pereira; AQUINO, Sergio Francisco de; COLTURATO, Luis Felipe de Dornfeld Braga. *Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias*. 2012.
11. HENRIQUES, Rachel Martins; OLIVEIRA, Luciano Basto; COSTA, A. O. *Geração de energia com resíduos sólidos urbanos: análise custo benefício*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 5. Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Anais... Caxias do Sul, 2004
12. JUCÁ, José Fernando Thomé et al. *Relatório final sobre as principais rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no Exterior e no Brasil*. *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Produto 7. Recife, PE. out. , 2013.

13. \_\_\_\_\_. *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão – Produto 12*. Recife: CCS Gráfica Editora Ltda, 2014. 186p.
14. JOÃO PESSOA. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), 2014. João Pessoa, 2014b. Disponível em:< <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/plano-municipal-de-residuos-solidos/>> Acesso: 17 out. 2015.
15. MERSONI, Cristina; REICHERT, Geraldo Antônio. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida como técnica de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi/RS. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, 2017.
16. PASCOAL JUNIOR, Alcides; OLIVEIRA FILHO, Paulo Costa de. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. *Rev. Acad., Ciênc. Agrárias. Ambient*, v. 8, n. 2, p. 131-144, 2010.
17. SANTOS, Rodrigo Couto et al. Usinas de Compostagem de Lixo como alternativa viável à problemática dos lixões no meio urbano, Goiânia, *Enciclopédia Biosfera*, v. 2, 2012.
18. VOEGELI, Y.; ZURBRÜGG, C. Decentralised anaerobic digestion of kitchen and market waste in developing countries-‘state of the art’ in south India. *Proceedings Venice*, 2008.