

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: um estudo sobre barreiras na implantação de uma cadeia de fornecimento waste-to-energy

ADELY RIBEIRO MEIRA CORRÊA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

JARDÊNIA DE SOUZA FERNANDES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

MÔNICA CAVALCANTI SÁ DE ABREU
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

RAFAELA DE ALMEIDA ARAUJO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: um estudo sobre barreiras na implantação de uma cadeia de fornecimento *waste-to-energy*

1 INTRODUÇÃO

A industrialização e urbanização foram desencadeados pelo processo de crescimento da população, o que, conseqüentemente, ocasionou um aumento no consumo. Entretanto, quanto maior é o consumo, maior é a geração de resíduos sólidos (BEYENE et al., 2018; FERRI et al., 2017; KOTHARI; TYAGI; PATHAK, 2009; MALINAUSKAITE et al., 2009; MAKARICHI; JUTIDAMRONGPHAN; TECHATO, 2018; ZHANG; TAN; GERSBERG, 2010). Nesse contexto, a cadeia de fornecimento *Waste-to-Energy* (WTE) fornece um método de abordar simultaneamente os problemas de demanda de energia e gerenciamento de resíduos para alcançar um sistema de economia circular (PAN et al., 2015).

A destinação dada aos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade moderna, especialmente no que tange ao equacionamento da geração excessiva de resíduos e do descarte final deles no meio ambiente (JACOBI; BESEN, 2011). Sendo assim, o gerenciamento desses resíduos sólidos torna-se necessário para atender o aumento desse fluxo e à necessidade de reutilização de recursos não renováveis (BING et al., 2015).

O Sistema de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos pode ser entendido como um sistema estruturado que envolve quatro fases: rotas de coleta de resíduos, estação de transferência, locais de processamento, descarte do material e recuperação de energia (DINIZ; ABREU, 2018; CARUSO; COLOMI; PARUCCINI, 1993; SOLTANI, et al., 2015). Vários tipos de resíduos agrícolas, industriais e residenciais são as fontes potenciais de energia renovável para o alcance da sustentabilidade e transição para as rotas WTE (KOTHARI; TYAGI; PATHAK, 2009).

No que diz respeito ao estado do Ceará, um convênio firmado entre os municípios de Fortaleza e Caucaia fez com que ambos passassem a utilizar o Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia - ASMOC para a disposição final de seus resíduos, Caucaia desde 1992 e Fortaleza desde 1998 (ACFOR, 2012). Tal aterro recebe diariamente cerca de 3 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares da Região Metropolitana de Fortaleza (CICLOVIVO, 2018). Além disso, o aterro recebe uma parte dos resíduos sólidos produzidos no Complexo Industrial e Portuário do Pecém – CIPP (ACFOR, 2012), fato que o tornou o principal aterro do estado do Ceará.

Diante da representatividade do ASMOC no cenário regional, um projeto inovador foi conduzido neste local por meio da instalação de uma usina capaz de captar e tratar o biogás produzido no aterro e, a partir de uma parceria público-privada (PPP) envolvendo o governo do estado, prefeituras municipais e empresas, definiu-se que o biogás captado pela usina GNR Fortaleza seria purificado e injetado na rede de distribuição da Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS) como gás natural renovável (CEGÁS, 2018).

Destarte, emerge a seguinte questão: *Quais as barreiras enfrentadas na implantação de uma cadeia de fornecimento waste-to-energy em um sistema de economia circular?*

Para responder tal questionamento, o presente artigo tem por objetivo identificar as barreiras enfrentadas durante a implantação de uma cadeia de fornecimento *waste-to-energy* em um sistema de economia circular no contexto do Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia – CE. Adicionalmente, busca-se compreender a estruturação dessa cadeia.

Embora tenham sido encontrados estudos que tenham se concentrado principalmente em RSU em vários países (MALINAUSKAITE et al., 2009; MIEZAH et al., 2015; ZHANG; TAN;

GERSBERG, 2010), especialmente os países em desenvolvimento, incluindo cidades brasileiras (DINIZ; ABREU, 2018; FERRI; CHAVES; RIBEIRO, 2015; MARTINS; LORENZO; CASTRO, 2017; JACOBI; BESEN, 2011; SILVA; SPERLING; BARROS, 2014), este artigo se destaca por fazer uma análise do aterro sanitário que possui a maior usina do país a converter biogás de resíduos sólidos urbanos na produção de gás natural renovável (GNR) localizado no município de Caucaia - CE (CICLOVIVO, 2018).

É cada vez mais evidente que a adoção de padrões de produção e consumo sustentáveis e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos podem reduzir significativamente os impactos ao ambiente (GOUVEIA, 2012; JACOBI; BESEN, 2011). Sendo assim, este artigo busca contribuir para que sejam realizadas políticas públicas para uma gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos juntamente com a gestão do aterro sanitário, na medida em que se propõe a trazer uma visão gerencial para a implantação de uma cadeia de fornecimento *waste-to-energy* para o sistema de economia circular. Por fim, o artigo se propõe a ampliar a base teórica para um maior desenvolvimento sobre a gestão sustentável de resíduos sólidos.

Além desta introdução, este estudo está dividido em mais quatro seções. A fundamentação teórica está contemplada na segunda seção. Em seguida, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados na execução da pesquisa. Na quarta seção, serão apresentados os resultados obtidos por meio da análise dos dados coletados. A quinta, e última seção, contempla a discussão, bem como a conclusão no que diz respeito ao estudo aqui apresentado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o crescimento desordenado das cidades brasileiras, ocorreu um impacto na infraestrutura de serviços urbanos, assim como no sistema de gestão dos resíduos sólidos (FERRI; CHAVES; RIBEIRO, 2015). A falta de uma gestão de resíduos sólidos gera altos custos, além de uma falta de compreensão sobre os diversos fatores que afetam as diferentes fases da gestão de resíduos e ligações necessárias para permitir o funcionamento de todo o sistema de forma equilibrada (GUERRERO; MAAS; HOGGLAND, 2013).

A administração pública municipal é vista como agente fundamental, já que tem a responsabilidade de gerenciar os resíduos sólidos com uma coleta ambientalmente responsável, que vai desde a coleta em si até a destinação final do resíduo (BING et al., 2016; DINIZ; ABREU, 2018; GUERRERO; MAAS; HOGGLAND, 2013; JACOBI; BESEN, 2011).

Todo o lixo que é produzido e não coletado de maneira correta acaba nas ruas, rios, córregos e em terrenos desocupados, isso tudo gera assoreamento de rios e córregos, entupimento de bueiros e, conseqüentemente, aumento de enchentes em época de chuva, destruição de áreas verdes, mau cheiro, proliferação de moscas, baratas e ratos, todos com graves conseqüências diretas ou indiretas para a saúde pública (HAN et al., 2016; JACOBI; BESEN, 2011).

Com essa visão, a gestão de resíduos deixou de ser percebida apenas como ações de coleta e disposição de resíduos e passou a ser analisada como um processo integrado com um forte componente econômico e social, cujos objetivos centrais são: minimizar a produção dos resíduos e maximizar o seu reaproveitamento (FERRI, et al., 2017).

Para Cole et al. (2014), é necessário que haja uma mudança no foco da reciclagem para a reutilização e a prevenção de resíduos, juntamente com o aumento dos programas de mudança de educação e comportamento para os indivíduos.

Nesse sentido, com o constante aumento do consumo e uma capacidade cada vez menor de obtenção de recursos naturais, surge a necessidade nas empresas de conciliar a venda de

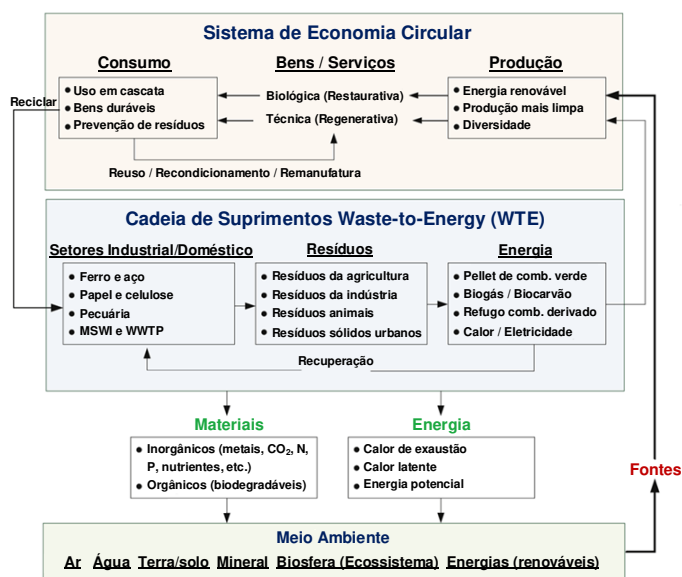
produtos com um menor uso de matéria-prima para o fazer. Portanto, o que antes era visto apenas como uma economia linear, onde consumidores compram, usam e, em seguida, descartam produtos, hoje busca-se maximizar o valor de uso de materiais por meio da criação de uma economia de ciclo fechado (ROMERO-HERNÁNDEZ; ROMERO, 2018).

Nessa perspectiva, torna-se pertinente usar resíduos como fonte de energia na transformação de resíduos sólidos em energia renovável como chave para uma economia circular, trazendo impactos no valor de produtos, materiais e recursos para que sejam mantidos no mercado pelo maior tempo possível, minimizando o desperdício e o uso desses recursos (MALINAUSKAITE et al., 2009). A adoção de uma abordagem holística em direção à geração, coleta, tratamento e descarte de resíduos torna-se essencial para a efetiva implantação de uma Economia Circular (ABREU; CEGLIA, 2018; COLE et al., 2014).

A expressão Economia Circular (EC) possui diferentes significados (GEISENDORF; PIETRULLA, 2018; KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017), na maioria das vezes é vista como uma combinação de reduzir, reutilizar e reciclar materiais usados em processos de produção, distribuição e consumo (ABREU; CEGLIA, 2018; KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017; ROMERO-HERNÁNDEZ; ROMERO, 2018; TISSERANT et al., 2017). Seu principal propósito, portanto, é a ascensão econômica seguida da qualidade ambiental (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

A cadeia de fornecimento *waste-to-energy* (WTE) oferece um método de abordar simultaneamente os problemas de demanda de energia e gerenciamento de resíduos para alcançar um sistema de economia circular (MAKARICHI; JUTIDAMRONGPHAN; TECHATO, 2018; PAN et al., 2015). O bio-aquecimento, a incineração e a co-digestão (anaeróbica) são técnicas geralmente utilizadas em parques industriais para a construção da cadeia de fornecimento WTE. A semelhança entre esses métodos é que eles convertem os resíduos biológicos em combustível ou energia de base biológica (biogás), que pode ser usada para suprir demandas de energia (PAN et al., 2015), sendo uma fonte de energia sustentável na produção de combustíveis e energia elétrica, que evitam adição de dióxido de carbono ao meio ambiente (RAMOS et al., 2018).

Figura 1: *Framework* conceitual do relacionamento entre meio ambiente, cadeias de suprimentos *waste-to-energy* (WTE) e sistema de economia circular.



Fonte: Pan et al. (2015, tradução das autoras).

Nesse contexto, é importante compreender a existência de barreiras relacionadas aos aspectos regulatórios, institucionais, financeiros e tecnológicos que podem ser encontradas durante a implantação da cadeia de fornecimento WTE. As barreiras regulatórias geralmente impedem o desenvolvimento eficiente de tecnologias e processos cruciais para as cadeias de suprimentos mais sustentáveis, por meio de uma legislação inadequada que muitas vezes desacelera o processo de transformação. As barreiras institucionais estão relacionadas às questões políticas e uma infraestrutura desatualizada. Já as barreiras financeiras referem-se ao alto custo inicial para a implantação de cadeias de fornecimento, retorno de investimento no longo prazo e altos preços praticados no mercado de energia renovável. E as barreiras tecnológicas são evidenciadas principalmente pela dificuldade de acesso às tecnologias, além dos diversos tipos de obstáculos que impossibilitam a criação de novas tecnologias. Essas barreiras não podem ser separadas distintamente porque os mecanismos de política geralmente atuam em mais de uma barreira simultaneamente (LI et al., 2015).

Quadro 1: Barreiras na construção de cadeias de suprimentos WTE para o sistema de economia circular.

Barreiras	Descrição
Regulatórias	Metas e objetivos nacionais pouco claros para o desenvolvimento de tecnologias energéticas Políticas não compreensíveis e inadequadas Falta de imposição e cumprimento de políticas
Institucionais	Coordenação e cooperação da autoridade de formulação de políticas Concorrência com formas mais estabelecidas de fornecimento de energia Baixa aceitação social das comunidades locais
Financeiras	Precificação imprecisa da energia Altos custos de capital Interligação de Rede e Infraestrutura associada
Tecnológicas	Falta de informação sobre a melhor tecnologia disponível Tecnologias disponibilizadas localmente Dificuldade de escolher tecnologias economicamente viáveis

Fonte: Pan et al. (2015).

A separação do lixo e os componentes críticos de uma gestão bem-sucedida de resíduos integrados são vistos como os grandes desafios de uma cadeia de fornecimento *waste-to-energy*. Além disso, outro grande desafio da implantação de uma cadeia WTE é encontrar a maneira pela qual a eliminação dos resíduos seja eficiente e eficaz, assim como valorizar um preço adequado para todos os custos sociais, incluindo danos ambientais (ZHANG; TAN; GERSBERG, 2010). Ainda para Oghazi e Mostaghel (2018), os principais desafios da transição para um modelo de negócios circular diz respeito tanto às mudanças na organização quanto aos indivíduos que dela participam, assim como a necessidade de reestruturação implica em custos e resistência ao risco entre os gestores.

A seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos para a realização deste estudo, destacando a classificação da pesquisa, a estratégia e a técnica de coleta de dados, bem como a forma de apresentação e análise dos dados.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No que tange à natureza da pesquisa, esta é considerada uma investigação de cunho qualitativo (COLLIS; HUSSEY, 2005), o que é particularmente mais adequado para compreender as dinâmicas que operam em um único cenário (EISENHARDT, 1989). Quanto aos fins, trata-se

de uma pesquisa descritiva, pois expõe características do fenômeno pesquisado (VERGARA, 2009). Quanto aos meios, trata-se de uma pesquisa de campo (FONSECA, 2002).

A coleta dos dados foi realizada por meio de entrevistas a fim de investigar quais as barreiras enfrentadas na implantação de uma cadeia de fornecimento *waste-to-energy* para o sistema de economia circular no contexto do Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia – CE.

Ao todo foram entrevistados quatro representantes de três empresas participantes da cadeia de fornecimento, assim como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Caracterização dos sujeitos da pesquisa.

Entrevistado	Empresa	Cargo
E01	GNR Fortaleza	Diretor
E02	GNR Fortaleza	Analista de operações
E03	Marquise / Ecofor	Diretor-presidente
E04	Cegás	Diretor-presidente

Fonte: elaborado pelas autoras (2019).

As entrevistas foram conduzidas no mês de junho de 2019 com os atores-chave envolvidos com a cadeia WTE no contexto da gestão de resíduos sólidos urbanos da região estudada, com o foco nas empresas envolvidas diretamente com a cadeia pesquisada. As entrevistas tiveram uma duração média de 40 minutos por entrevistado.

Para o alcance dos objetivos deste estudo, os entrevistados foram questionados sobre a estruturação da cadeia e sobre como se firmou a parceria entre as instituições envolvidas no projeto. Também foram indagados sobre quais as barreiras foram vivenciadas durante o processo de implantação da cadeia *waste-to-energy*, conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 3 – Exemplos de perguntas utilizadas no roteiro de entrevista.

Tipo de barreira (modelo de Pan et al., 2015)	Exemplo: perguntas do roteiro de entrevista
Regulatórias	Quais barreiras legislativas e/ou jurídicas foram enfrentadas (leis / licenças / autorizações / resoluções específicas)?
Institucionais	O campo de atuação local já era bem definido e coordenado?
Financeiras	Quais as barreiras financeiras identificadas durante esse processo?
Tecnológicas	De que forma foi verificada a viabilidade de utilização da melhor tecnologia disponível para a implantação da cadeia de fornecimento? A tecnologia estava disponível localmente?

Fonte: elaborado pelas autoras (2019).

Quanto à análise dos dados, foi realizada a transcrição das entrevistas e a análise dos dados por meio da técnica de análise de conteúdo, conforme proposta de Bardin (2004).

A seguir, será apresentada a discussão dos resultados da presente pesquisa.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados, primeiramente, buscou-se compreender como se deu o processo de identificação da oportunidade de aproveitamento energético dos resíduos sólidos por meio da transformação em biogás no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia - ASMOC. Segundo o entrevistado 1, a identificação da oportunidade se deu tendo em vista que o consumo de gás natural no Brasil ainda é incipiente e tem potencial de crescimento, haja vista que há

poucos gasodutos e fornecedores além da Petrobrás no país. Isso ainda é fortalecido pelo fato de que a Petrobrás limita a quantidade de gás que chega na cidade de Fortaleza.

Foi possível perceber que a empresa Ecometano já tinha a intenção de construir uma nova empresa de valorização de biogás, pois ela possuía uma experiência na construção de uma planta de purificação de biometano em um aterro no Rio de Janeiro. Nesse sentido, foram feitas visitas a alguns aterros pelo Brasil por seus representantes e foi identificada a oportunidade de firmar um acordo com a empresa que opera o aterro de Caucaia, a Ecofor (empresa do Grupo Marquise Ambiental), já que os respectivos donos já mantinham uma relação anterior.

No que tange à origem do projeto, o entrevistado 1 afirma que “o investidor é brasileiro e a empresa é toda brasileira, não tem nada de estrangeiro aqui, o *know how* é todo brasileiro. Evidentemente que a gente compra equipamentos importados, mas a ideia, o processo, a forma de fazer é toda daqui”.

No que diz respeito às parcerias firmadas para o desenvolvimento do projeto, além da sociedade entre a Ecometano e a Ecofor, que deu origem à empresa GNR Fortaleza, ainda foi firmado um contrato de venda de gás natural renovável (GNR) com a Companhia de Gás do Ceará - CEGÁS, empresa pertencente ao Governo do Estado do Ceará e a mais duas outras empresas, a Mitsui e a Gaspetro. A Gaspetro é uma *holding* com participação na maioria das empresas de gás do Brasil, sendo sua principal detentora de ações a Petrobrás. A Mitsui é uma empresa japonesa que possui participação societária em várias companhias estaduais de distribuição de gás natural pelo Brasil.

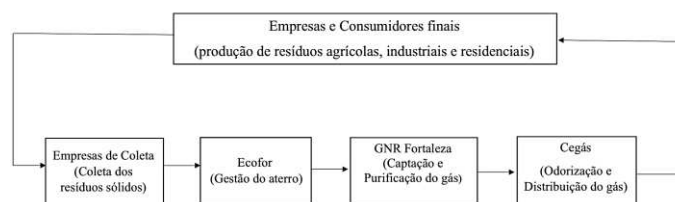
Portanto, o cenário foi determinante para a firmação do acordo entre as partes interessadas e para a decisão de investimento no projeto pelas empresas envolvidas. Isso fica evidenciado na fala do entrevistado 1:

“Havia falta de gás, havia uma empresa cujo estado é acionista e enxergou ali como um fator importante de inovação e de criação de renda, de receita... tem a questão da grande quantidade de resíduos armazenados no local, tem a questão ambiental, o interesse dos órgãos ambientais do estado”.

No que diz respeito à relação público-privada, ficou evidenciado durante as entrevistas que os entes públicos (Governo do Estado do Ceará e Prefeitura de Fortaleza) foram atores-chave nesse processo. De acordo com o entrevistado 4, a viabilidade do projeto esteve fortemente relacionada aos incentivos do governo, especialmente no que diz respeito à redução de impostos para a comercialização do gás natural renovável, para que o produto fosse vendido a um preço compatível ao que era praticado no mercado.

Sobre a estruturação da cadeia *waste-to-energy* do caso estudado, o entrevistado 2 descreveu detalhadamente como acontece cada etapa do processo produtivo do biogás, conforme representado na Figura 1.

Figura 2 – Atores-chave e funções na cadeia de fornecimento *waste-to-energy*.



Fonte: elaborado pelas autoras (2019).

Diante das respostas dos entrevistados, as barreiras identificadas no processo de implantação da cadeia foram categorizadas em: geográficas, tecnológicas, logísticas, financeiras, institucionais e regulatórias. As barreiras tecnológicas, financeiras, institucionais e regulatórias corroboram o modelo de Pan et al. (2015), já as barreiras geográficas e logísticas emergiram durante a análise dos dados.

Quadro 4 – Codificação dos dados das entrevistas.

Categoria de Análise	Unidade de contexto	Unidade de registro
Barreiras	Geográficas	Localização do aterro
		Particularidades de clima e solo da região
		Distância dos fornecedores
	Tecnológicas	Indisponibilidade de tecnologias nacionais
		Soluções incompletas
		Dificuldades de manutenção dos equipamentos
		Necessidade de conhecimento de processo industrial
		Complexidade de construção da planta
	Logísticas	Problemas de transporte
		Dificuldades na importação de equipamentos
	Financeiras	Custo inicial elevado
		Dificuldades de financiamento
		Alto risco de investimento em um projeto inovador
	Institucionais	Campo de atuação indefinido
		Campo de atuação pouco coordenado
		Necessidade de apoio político
		Necessidade de articulação com instituições públicas
	Regulatórias	Inexistência de resoluções da agência reguladora para a comercialização do produto no país
		Políticas e planos pouco claros
		Ausência de legislação competente

Fonte: elaborado pelas autoras (2019).

A primeira barreira identificada foi a geográfica, já que o aterro se encontra em uma região onde é difícil o acesso à água, assim como explica entrevistado 1:

“aqui, por exemplo, não tem água durante 7 meses por ano, então você não pode ter um processo que consuma muita água para poder limpar o gás. Então você tem que estruturar o processo baseado nas condições locais, portanto, essa planta foi desenhada para uma situação peculiar dessa área aqui”.

Além disso, outra barreira geográfica identificada no país foi a distância da própria rede do gasoduto, que se inicia na região Sudeste e vai subindo pela costa do Nordeste, tendo seu final no estado do Ceará. Sendo assim, a quantidade de gás natural que chega em Fortaleza é bastante limitada.

No que diz respeito às barreiras tecnológicas, para a realização do empreendimento foi necessário importar tecnologia de outros países, devido ao pioneirismo do projeto no país e à consequente indisponibilidade de tecnologia local para tais fins. Apesar de a empresa Ecometano ter tido a experiência anterior de construção de uma planta similar no Rio de Janeiro, o tamanho e as condições físicas do aterro de Caucaia eram muito distintos dela. Nesse sentido, a tecnologia

foi toda planejada para atender às especificidades do local e apresentou muitas dificuldades de acessibilidade.

Outro obstáculo tecnológico enfrentado foi a inexistência de uma solução completa, pois a maioria dos equipamentos comprados foram provenientes de fornecedores diferentes, o que dificulta também a posterior manutenção deles. Nesse sentido, foi necessário um conhecimento prévio de processo industrial por parte dos especialistas responsáveis pela montagem da planta de purificação do biogás, devido à complexidade de construção dessa cadeia.

A operação logística para o deslocamento dos equipamentos tecnológicos é complexa devido à necessidade de importação, já que grande parte do maquinário é de origem norte-americana. Tanto a GNR Fortaleza quanto a Cegás tiveram que buscar tecnologias em outros países e enfrentaram muitas dificuldades no recebimento delas. Diante disso, foi identificada uma barreira logística para realização da cadeia de energia em questão.

No que tange às barreiras financeiras, ressalta-se o custo inicial elevado de um projeto de grande vulto, especialmente devido ao tamanho da planta industrial planejada. Além disso, o financiamento por parte do banco contratado somente foi aprovado após o término da construção do empreendimento, demonstrando que há uma dificuldade burocrática quando se fala de empreendedorismo no Brasil. Isso fica claro na fala do entrevistado 1:

“O banco nos financiou, mas depois que já estava tudo pronto! O sócio foi quem teve que construir isso aqui com dinheiro próprio porque senão não saia o projeto. Quando o banco começou a liberar recurso, já estava construído! Então você não tem um financiamento fácil no Brasil, entendeu? É muito burocrático, pedem muitas garantias absurdas”.

Outro fator crítico relacionado às barreiras financeiras trata-se do alto risco de investimento em um projeto inovador como o da cadeia estudada, tanto em relação ao tempo de retorno financeiro quanto à incerteza de sucesso do empreendimento.

As barreiras institucionais relatadas pelos entrevistados diziam respeito, principalmente, à burocracia evidenciada na importação do equipamento por parte da Receita Federal, assim como para a autorização da importação do equipamento por parte do governo americano. Outras barreiras dessa natureza surgiram durante a implantação do projeto por conta do campo de atuação indefinido e pouco coordenado, isso acontece devido ao fato de o projeto ser o único do país a propor a injeção de gás natural renovável em uma rede de gasodutos.

Os entrevistados 1, 3 e 4 ressaltaram a importância do apoio político local e da articulação das empresas com as instituições públicas envolvidas, pois todos eles afirmaram que esses fatores foram determinantes para a efetivação das parcerias e para que a ideia fosse implementada. Duas das empresas parceiras do caso estudado atuam há muitos anos na região, fato este que facilitou a comunicação e a articulação com os entes públicos.

Sobre as barreiras regulatórias identificadas durante a implantação da cadeia WTE pesquisada, evidenciou-se a inexistência de resoluções da Agência Nacional de Petróleo - ANP para permitir a injeção do gás natural renovável proveniente de um aterro sanitário em uma rede de gasodutos a ser distribuído aos mais diversos clientes (residenciais, industriais, etc), pois a finalidade principal de outras cadeias de produção de biogás no país é a geração de energia elétrica. Segundo o entrevistado 1, demorou três anos para esse processo ser regulamentado, devido ao pioneirismo dessa cadeia.

Em relação às políticas e planos governamentais, foi possível perceber que possuem definições e metas pouco claras em todas as esferas (municipal, estadual e nacional). Todos os

entrevistados destacaram a ausência de uma legislação mais efetiva em relação à gestão de resíduos sólidos no país e também a falta de incentivos para adoção de soluções de aproveitamento energético por meio de empreendimentos como o caso investigado.

O estudo apresentado aponta que o projeto da cadeia *waste-to-energy* trouxe como benefícios não apenas a maximização de lucros, mas, também, uma melhor gestão dos resíduos sólidos urbanos descartados no aterro, sendo possível ver impactos positivos ambientais, econômicos e sociais, assim como evidenciado por Pan et al. (2015).

Além disso, assim como Abreu e Ceglia (2018) e Cole et al. (2014) afirmam, fica evidente a importância da adoção de uma abordagem holística na geração, coleta, tratamento e descarte de resíduos para a implantação de uma economia circular, assim como vista na cadeia de fornecimento integrada entre os atores-chave deste estudo.

Por fim, assim como ressaltado por Li et al. (2015) e Pan et al. (2015), foram encontradas barreiras para a implantação do empreendimento em questão, ficando claro que tais barreiras não se apresentavam de forma distinta, pois, bem como os autores mencionam, os mecanismos políticos atuam em mais de uma barreira simultaneamente.

5 CONCLUSÕES

A implantação da cadeia de suprimentos *waste-to-energy* no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia revela que a oportunidade foi identificada com base em um estudo prévio realizado na região em que o aterro se encontra, evidenciando que aquela era uma região propícia para a produção e distribuição do gás, motivando, assim, a parceria entre os atores-chave na realização do empreendimento.

Os resultados da pesquisa evidenciam que o cenário foi determinante para a realização do acordo e a implantação da cadeia de produção do biogás. A oportunidade considerada determinante para a implantação do empreendimento foi a escassez de alternativas de gás na região. Além disso, houve a oportunidade de inovação e a geração de renda.

No que diz respeito às questões ambientais, com a destinação de grande quantidade de resíduos para a produção do biogás, foi possível perceber uma diminuição nos impactos ambientais, especialmente com a diminuição da emissão do CO₂. No que tange à relação público-privada, ficou evidenciado, durante as entrevistas, que o Governo do Estado foi um ator-chave nesse processo.

Também foi possível compreender como se estruturou da cadeia de suprimentos WTE no Aterro Municipal Oeste de Caucaia em um sistema de economia circular. A representação de um ciclo fechado permitiu a visualização do movimento contínuo de materiais que antes eram descartados e que passaram a ser aproveitados.

Nesse contexto, destaca-se que o propósito geral deste estudo foi alcançado na medida em que as barreiras enfrentadas no processo de implantação de uma cadeia WTE para um sistema de economia circular foram identificadas. Os quatro principais tipos de barreiras (tecnológicas, financeiras, institucionais e regulatórias) vivenciadas no caso investigado corroboram a categorização apresentada nos estudos de Li et al. (2015) e Pan et al. (2015). Entretanto, a partir da investigação realizada nesta pesquisa, emergiram outros dois tipos de barreiras, geográficas e logísticas, que refletem a contribuição teórica desta investigação para futuras pesquisas.

Os achados deste trabalho também possibilitam uma compreensão mais clara em relação aos obstáculos a serem superados na implantação de cadeias semelhantes à cadeia pesquisada, contribuindo com os empreendedores que desejam investir em projetos similares.

Ressaltam-se limitações na presente pesquisa. Não foram realizadas entrevistas com todos os atores-chave do caso em questão. Além disso, as entrevistas foram realizadas somente com os representantes da iniciativa privada, não tendo sido capturada a visão dos entes públicos.

Sugere-se para estudos futuros que seja investigada a visão desses atores. Por fim, indica-se que sejam realizadas pesquisas com outras cadeias *waste-to-energy* em sistemas de economia circular a fim de que sejam compreendidas suas diferenças e benefícios em cada um desses casos.

O trabalho, contudo, reforça a importância da criação de formas alternativas na utilização e de diminuição da geração de resíduos sólidos urbanos afim de maximizar o seu aproveitamento e minimizar os seus impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C. S.; CEGLIA, D. On the implementation of a circular economy: The role of institutional capacity-building through industrial symbiosis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 99-109, 2018.

Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental - ACFOR. 2012. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de fortaleza - estado do Ceará**. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/plano_municipal_de_gesto_integrada_de_residuos_solidos_de_fortaleza.pdf> Acesso em: 25 de março de 2019.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Ed. 70, 2004.

BEYENE, H. D.; WERKNEH, A. A.; AMBAYE, T. G. Current updates on waste to energy (WTE) technologies: a review. **Renewable Energy Focus**, v. 24, p. 1-11, 2018.

BING, X.; BLOEMHOF, J. M.; RAMOS, T. R. P.; BARBOSA-POVOA, A. P.; WONG, C. Y.; VAN DER VORST, J. G. Research challenges in municipal solid waste logistics management. **Waste Management**, v. 48, p. 584-592, 2016.

CARUSO, C.; COLORNI, A.; PARUCCINI, M. The regional urban solid waste management system: A modelling approach. **European Journal of Operational Research**, v. 70, n. 1, p. 16-30, 1993.

CEGÁS. 2018. Cegás é a primeira distribuidora do Brasil a injetar o gás natural renovável em sua rede de gasodutos. Disponível em: <<http://www.cegas.com.br/gas-natural/o-gas-natural/o-produto/>>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

CEGLIA, D.; ABREU, M. C. S.; SILVA FILHO, J.C.L. Critical elements for eco-retrofitting a conventional industrial park: social barriers to be overcome. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 375-383, 2017.

CICLOVIVO. 2018. Fortaleza inaugura maior usina de produção de biogás com lixo de aterro: Empresa que converte produto em biometano é certificado. Disponível em:

<<https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/fortaleza-inaugura-maior-usina-produzir-biogas-com-lixo-de-aterro/>>. Acesso em: 25 de março de 2019.

COLE, C.; OSMANI, M.; QUDDUS, M.; WHEATLEY, A.; KAY, K. Towards a zero waste strategy for an English local authority. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 64-75, 2014.

COLLINS, J.; HUSSEY, R. Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. **Cidade: Editora**, 2005.

DINIZ, G. M.; ABREU, M. C. S. disposição (ir)responsável de resíduos sólidos urbanos no estado do ceará: desafios para alcançar a conformidade legal. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 21-37, 2018.

EISENHARDT, K.M. Building Theories from Case Study Research. In: Huberman, A.M., Miles, M.B. (Eds.), **The Academy of Management Review**, vol. 14. pp. 532–550, 1989.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. **Production**, v. 25, n. 1, p. 27-42, 2015.

FERRI, G. L.; MATAVEL, N. I.; GONÇALVES, M. F.; RIBEIRO, G. M.; CHAVES, G. D. L. D. Modelos de localização de facilidades na gestão de resíduos sólidos: uma revisão bibliométrica. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 3, n. 2, p. 40-56, 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GEISENDORF, S.; PIETRULLA, F. The circular economy and circular economic concepts — a literature analysis and redefinition. **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, p. 771-782, 2018.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste management**, v. 33, n. 1, p. 220-232, 2013.

HAN, Z.; MA, H.; SHI, G.; HE, L.; WEI, L.; SHI, Q. A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. **Science of the Total Environment**, v. 569, p. 1255-1264, 2016.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KOTHARI, R.; TYAGI, V. V.; PATHAK, A. Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 3164-3170, 2010.

LI, J., PAN, S.Y., KIM, H., LINN, J.H., CHIANG, P.C. Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: barriers and strategies. **Journal of Environmental Management**. 162, 158–170, 2015.

MALINAUSKAITE, J.; JOUHARA H; CZAJCZYNSKA D.; STANCHEV P.; KATSOU E.; MANAF, L. A.; SAMAH, M. A. A.; ZUKKI, N. I. M. Municipal solid waste management in Malaysia: Practices and challenges. **Waste Management**, v. 29 n. 11, p. 2902–2906, 2009.

MAKARICHI, L.; JUTIDAMRONGPHAN, W.; TECHATO, K. The evolution of waste-to-energy incineration: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 812-821, 2018.

MARTINS, A. M.; LORENZO, H. C.; CASTRO, M. C. A. A. Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos no município de Araraquara-SP: formulação e implementação. **Revista Brasileira Multidisciplinar-ReBraM/Brazilian Multidisciplinary Journal**, v. 20, n. 1, p. 81-92, 2017.

MIEZAH, K.; OBIRI-DANSO, K.; KÁDÁR, Z.; FEI-BAFFOE, B.; MENSAH, M. Y. Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. **Waste Management**, v. 46, p. 15-27, 2015.

OGHAZI, P.; MOSTAGHEL, R. Circular business model challenges and lessons learned—An industrial perspective. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 739, 2018.

PAN, S.; DU, M. A.; HUANG, I. T.; LIU, I. H.; CHANG, E. E.; CHIANG, P. C. Strategies on implementation of waste-to-energy (WtE) supply chain for circular economy system: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 409-421, 2015.

RAMOS, A.; Monteiro, E.; Silva, V.; Rouboa, A. Co-gasification and recent developments on waste-to-energy conversion: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 380-398, 2018.

ROMERO-HERNÁNDEZ, O.; ROMERO, S. Maximizing the value of waste: From waste management to the circular economy. **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, p. 757-764, 2018.

SILVA, D. F.; SPERLING, E. V.; BARROS, R. T. V. Avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde em municípios da região metropolitana de Belo Horizonte (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v 19, n. 3, 2014.

SOLTANI, A.; HEWAGE, K.; REZA, B.; SADIQ, R. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. **Waste Management**, v. 35, p. 318-328, 2015.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

TISSERANT, A.; PAULIUK, S.; MERCIAI, S.; SCHMIDT, J.; FRY, J.; WOOD, R.; TUKKER, A. Solid waste and the circular economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 628-640, 2017.

ZHANG, D. Q.; TAN, S. K.; GERSBERG, R. M. Municipal solid waste management in China: status, problems and challenges. **Journal of environmental management**, v. 91, n. 8, p. 1623-1633, 2010.