

Análise das condições de viabilidade comercial, econômica e legal para exploração do mercado de estruvita recuperada a partir do tratamento de águas residuárias no Brasil

Thiago Keller Franci

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil
thiagokfranci@gmail.com

Ednilson Silva Felipe

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil
ednilsonfelipe.ufes@gmail.com

ABSTRACT

Continued population growth puts pressure on global food security, requiring increased food production and hence fertilizer. Struvite recovered from wastewater treatment helps mitigate the scarcity of the phosphorus element, contributing to a circular economy. The large number of companies exploring the struvite market throughout the world, as well as the great potential for recovery of struvite recovered from wastewater allow us to conclude that there is technical and commercial viability for the development of the struvite market in Brazil. However, the information gathered does not allow a conclusion regarding the economic viability of projects related to struvite recovery. The results found in the developed scenario indicate that there is no economic feasibility, however this result applies to one scenario only, and other studies should be developed. However, the results of the sensitivity analysis indicate that economic feasibility studies of this type of project focus on the two variables that were most relevant for the return on investment, which are the values of the ton of struvite and the chemicals used in the project. The analysis of the current regulations allows to conclude that there are currently no legal obstacles to the production and commercialization of struvite in the country.

Keywords: Food safety; nutrients; recycling; sanitation; struvite

1. INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento da população global pressiona a segurança energética, a segurança alimentar e a segurança hídrica em várias regiões do planeta. A partir do entendimento de que a prevista escassez das reservas de rocha fosfática comprometerá a produção mundial de alimentos, passou-se a analisar com mais cuidado como as nações têm gerenciado o ciclo do fósforo. Atualmente o fósforo é considerado uma mercadoria "estratégica" no mercado global, principalmente porque diversos estudos indicam que as reservas conhecidas de fosfato se esgotarão entre 100 e 120 anos (CORDELL et al. 2009). Outras pesquisas indicam que o pico da demanda de fósforo se dará em um futuro mais distante, estimando que as reservas conhecidas durarão mais 370 anos. O Brasil é considerado o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, tendo só no ano de 2010 consumido 5,9% do total produzido mundialmente, ficando atrás somente da China, Índia e Estados Unidos (LUPINACCI, 2012). Mesmo produzindo grande parte dos fertilizantes internamente, essa quantidade ainda é insuficiente para assegurar ao Brasil a autossuficiência, tendo o país que importar aproximadamente 70% dos fertilizantes que utiliza (OYAMA, 2013).

A busca por fontes alternativas de fósforo (principalmente) fez com que as atenções se voltassem para as águas residuárias, ricas em nutrientes. A concentração média de fósforo em esgoto doméstico bruto é de 4 a 16 mg/l, da qual pouco mais de 30% advem de fontes humanas e de detergentes utilizados para limpeza (TCHOBANOUGLOUS et al., 2003; RAHAMAN, 2014). A contribuição das atividades de pecuária nas águas residuárias é estimada em 34%, mesmo percentual referente ao esgoto doméstico. Uma importante alternativa para a recuperação e reciclagem do fósforo das águas residuárias é a

precipitação de estruvita, que de acordo com Cornel e Schaum (2009) é uma alternativa simples, sem riscos potenciais à saúde e que satisfaz critérios ecológicos. Ainda de acordo com os autores, a contaminação mínima, o fácil manuseio, e a facilidade de transporte e armazenamento são fatores positivos para a aplicação de estruvita como fertilizante. Sua recuperação tem sido uma alternativa bastante explorada em diversos países, substituindo a importação de fertilizantes fosfatados e contribuindo com o atendimento da demanda interna desse elemento.

A estruvita, cientificamente conhecida como fosfato de amônio e magnésio hexahidratado, é uma substância cristalina branca e ortorrômbica, que pode ser precipitada pela adição de uma fonte de magnésio (OYAMA, 2013; CASTRO, 2014). É composta por 5,7% de N, 29% de P_2O_5 , 0% de K_2O e 16% de Mg (CASTRO, 2014), e pode ser recuperada por precipitação controlada do esgoto municipal ou água residuária de qualquer procedência, lixiviados de aterros sanitários, lixo industrial, dejetos de animais e humanos. A estruvita é considerada um fertilizante de liberação lenta e tem como mercado potencial as indústrias relacionadas à jardinagem, indústrias produtoras de alimentos naturais e orgânicos, além de interessados em um produto ecologicamente correto. Segundo Metcalf e Eddy (2016), devido ao elevado custo de produção, os fertilizantes de liberação lenta têm sido utilizados, predominantemente, em aplicações com alto valor agregado, como viveiro de plantas, estufas para produção de flores e campos de golfe. Mayer et al. (2016), acrescentam que a estruvita tem sido comercializada como uma mercadoria *Premium* (de qualidade superior), uma vez que há uma disposição maior do que o habitual para pagar por um produto de alto valor agregado neste mercado. No caso das granjas que possuem suas próprias ETARs, a estruvita produzida pode ser utilizada em plantios próprios ou de propriedades vizinhas, substituindo uma parcela de fertilizantes minerais. Com relação a origem da matéria utilizada para recuperação da estruvita, ETARs (Estações de Tratamento de Águas Residuárias) podem oferecer vários locais para a recuperação de estruvita com diferentes potenciais de recuperação (Tabela 1).

Tabela 1 – Fluxo e concentração de fósforo (litros/per capita/ dia). (Fonte: Adaptado de Nieminen, 2010).

	Volume / fluxo de massa	Fluxo relativo de volume-massa	Concentração de fósforo	Potencial de recuperação
Efluente	200 l/hab/d	100%	<5mg/l	Máx.55%
Licor de lodo	1-10 l/hab/d	0,5 – 5%	20 – 100 mg/l	Máx.50%
Lodo desaguado	0,15 l/hab/d	0,075%	~10 g/kg TS	~90%
Cinzas de lodo	0,03 kg/hab/d	0,015%	64 g/kg	~90%

Com relação ao processo de formação da estruvita, é possível que aconteça via precipitação ou cristalização. De acordo com Fattah (2012), a principal diferença entre a precipitação convencional e o processo de cristalização é que no processo de cristalização a transformação é controlada com precisão. Isso resulta na formação de pelotas de estruvita com um tamanho variando de 1 a 5 mm, e o tamanho desejado depende do uso previsto para o produto. A recuperação de estruvita com granulometria maior é preferível às partículas muito finas, que são difíceis de recuperar de uma fase líquida e processar para a obtenção de um produto que possa ser reutilizado. Os principais fatores operacionais que devem ser considerados na recuperação de fósforo como estruvita segundo Metcalf e Eddy (2016) são: (1) necessidade de pré-tratamento das correntes secundárias, (2) controle de pH e da temperatura, (3) ajustes químicos, (4) uso de sementes para a formações dos cristais e (5) condições hidráulicas e de mistura.

De acordo com Castro (2014), as tecnologias para recuperação de estruvita podem utilizar reator de leito fluidizado ou agitado por injeção de ar (em inglês Fluidized Bed Reactor – FBR), e reator continuamente agitado (em inglês Continuous Stirred Tank Reactor – CSTR). Ainda de acordo com o autor, os reatores de leitos fluidizados são mais comumente empregados em estudos envolvendo processos de precipitação de estruvita. Segundo Mangin e Klein (2004 apud CASTRO, 2014, p.118), as tecnologias que optam por esse tipo de reator “possuem um design que possibilita sua inserção como etapa adicional em linhas de tratamento de efluentes em operações contínuas”. Sendo assim, destaca-se a vantagem de poder instalar esse tipo de reator em sistemas já existentes, sendo necessário poucas adaptações. Tecnologias como Airprex process, Ostara PEARL, Unitika Phosnix, ANPHOS, PHOSPAQ, NuReSys, Multiform Harvest e Crystalactor, vêm sendo comercializadas há vários anos em diversos países, o que deixa claro que já não existem barreiras tecnológicas para a recuperação de estruvita a partir do tratamento de águas residuárias. Diversas rotas tecnológicas são possíveis, podendo haver diversas configurações de acordo com a necessidade do cliente.

Na tentativa de reduzir a dependência externa, o Ministério da Agricultura implementou em 2011 o Plano Nacional de Fertilizantes, com o objetivo de reduzir até 2016 a dependência das importações de fósforo de 49% para 12% e de nitrogênio de 78% para 33%. No entanto, diferentemente de outras nações que têm investido em ações pautadas nos conceitos de Economia Circular e Nexus, não foram consideradas neste Plano fontes de nutrientes recicladas, como, por exemplo, a estruvita recuperada a partir do tratamento de águas residuárias.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar as condições de viabilidade comercial, econômica e legal para exploração do mercado de estruvita recuperada a partir do tratamento de águas residuárias no Brasil.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa é caracterizada por sua finalidade como aplicada, e do ponto de vista da abordagem, é caracterizada como qualitativa. Em relação ao objetivo pode ser considerada uma pesquisa exploratória, e teve como procedimentos a pesquisa bibliográfica e documental, sendo que a maior parte dos dados utilizados nela foram secundários, obtidos por meio de relatórios de pesquisa, livros acadêmicos, artigos científicos e publicações da área de saneamento, incluindo documentos oficiais, apresentações em congressos e legislações de órgãos governamentais. A estimativa do desperdício de fósforo nos sistemas de saneamento foi realizada com base em informações do documento Atlas Esgotos, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), órgão gestor dos recursos hídricos no Brasil, em conjunto com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCidades).

Para avaliar se a estruvita pode se tornar um produto explorado comercialmente no Brasil, foram pesquisados através da Internet os potenciais atores deste mercado, que vão determinar a oferta e demanda. O estudo de viabilidade econômica de projeto elaborado neste trabalho foi realizado com base nas variáveis destacadas no Tabela 2. Para tanto, foi desenvolvido um cenário hipotético onde foi realizada a venda e instalação de uma tecnologia de recuperação de estruvita por uma empresa brasileira para uma granja de suinocultura. A escolha por esse tipo de cliente justifica-se pois praticamente todas as granjas de criação de porcos possuem suas próprias ETARs, em geral do tipo lagoas, para tratar os efluentes gerados diariamente, e são o ambiente perfeito para a recuperação de estruvita especialmente por possuir um efluente rico em nutrientes. Por fim uma análise de sensibilidade foi realizada com cada

uma das variáveis consideradas no estudo, avaliando quais delas têm maior impacto no tempo de retorno do investimento.

Tabela 2 - Variáveis positivas e negativas para estudos de viabilidade econômicas em projetos para recuperação de nutrientes em ETARs.

Variáveis geradoras de economia (variáveis positivas)	Variáveis geradoras de despesas (variáveis negativas)
Venda da estruvita.	Custos de instalação (CAPEX).
Redução de custos com energia elétrica.	Custos com produtos químicos.
Redução do custos de manutenção da tubulação (entupimento com estruvita).	Custos de OPEX.
Redução dos custos com disposição do lodo.	Depreciação da tecnologia.
Redução do uso de produtos químicos para os processos de remoção de nutrientes.	Energia utilizada para a tecnologia (separa da energia elétrica utilizada pela ETAR).
Redução dos custos de limpeza.	Custos com logística da estruvita (embalagem e transporte – se houver).

Para a construção do cenário foram utilizados os cálculos da quantidade de suínos em uma granja de ciclo completo elaborados por Dias et al. (2011). Os autores calcularam que para a produção de 300 cevados por semana uma granja deve ter 594 matrizes (fêmeas reprodutoras) e um total de 1.577 porcos (em vários estágios). Baseado no estudo dos mesmos autores, calculou-se uma produção média unitária de efluentes de 80 litros por matriz dia, o que totaliza um volume de 47,5m³ de dejetos produzidos por dia nesta granja. Para a definição do CAPEX desse projeto, foi consultada a empresa Fluir Engenharia Ltda., localizada em Vila Velha/ES, especializada no desenvolvimento de tecnologias de saneamento. A escolha por essa empresa deve-se ao fato de a mesma ter sido uma das primeiras (talvez a primeira) empresas brasileiras a desenvolver seu próprio cristalizador de estruvita, através de um projeto de P,D&I financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES (edital de subvenção econômica nº004/2010). De posse das informações fornecidas, a empresa informou que o valor do CAPEX para esse projeto seria de R\$120.000,00. As demais variáveis consideradas para elaboração deste estudo foram:

- Mão de obra: 1,5 horas por dia / 1 operador – R\$800,00.
- Depreciação dos equipamentos: 5% ao ano.
- Reagente: Hidróxido de Magnésio (Mg(OH)₂) – 38,75 ton/ano.
- Valor da tonelada de Mg(OH)₂: R\$1.870,00/ton.
- Período de estudo: 10 anos.
- Aumento do preço do reagente: 5% ao ano.
- Preço da tonelada de estruvita: USD350,00.
- Aumento do preço da estruvita: 10% ao ano.
- Taxa Mínima de Atratividade (TMA): 10%
- Câmbio utilizado: 1 dólar americano = 4 reais.

Para análise da regulamentação relacionada a produção e comercialização de fertilizantes reciclados, documentos oficiais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento foram consultados.

4. RESULTADOS

4.2 Viabilidade Comercial

O documento Atlas Esgotos, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), órgão gestor dos recursos hídricos no Brasil, em conjunto com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCidades), concluiu que atualmente apenas 43% da população possuem acesso a coleta e tratamento de esgoto (sistema coletivo), e 12% da população possuem soluções

individuais. De maneira resumida, conclui-se que atualmente apenas 55% da população possuem atendimento adequado. Por isso, a ANA (2017) estima os investimentos necessários para universalizar os serviços de esgotamento sanitário em todo o País em R\$ 150 bilhões até o ano de 2035 (ANA, 2017). Sabe-se que não se pratica a recuperação de nutrientes a partir do tratamento de águas residuárias no Brasil (ao menos em grande escala) e, portanto, conclui-se que toneladas de nutrientes que poderiam ser reciclados e comercializados são descartadas em aterros sanitários ou em corpos d'água.

Ao se considerar que a concentração média de fósforo por litro no esgoto sanitário é de 8 mg/L (MOTA; VON SPERLING, 2009), e que um ser humano produz em média 200 litros por dia de esgoto, é possível concluir que cada pessoa descarta 1,6 gramas de fósforo por dia nas águas residuárias. Considerando o potencial médio de recuperação de fósforo do efluente de 55% (MONTAG, 2008), conclui-se que, mesmo com o baixo percentual de coleta e tratamento de esgoto praticado atualmente (43% referente aos sistemas coletivos, onde a economia de escala justifica a instalação de tecnologias de recuperação de nutrientes), o Brasil desperdiça anualmente cerca de 24 mil toneladas de fósforo. Construindo-se um cenário em que 100% da população (168.400.000 de acordo com o ANA, 2017) são contemplados com serviços de coleta e tratamento de esgoto em sistemas coletivos, calcula-se que o país estaria desperdiçando aproximadamente 54 mil toneladas de fósforo por ano por não reciclar este nutriente (Figura 1).

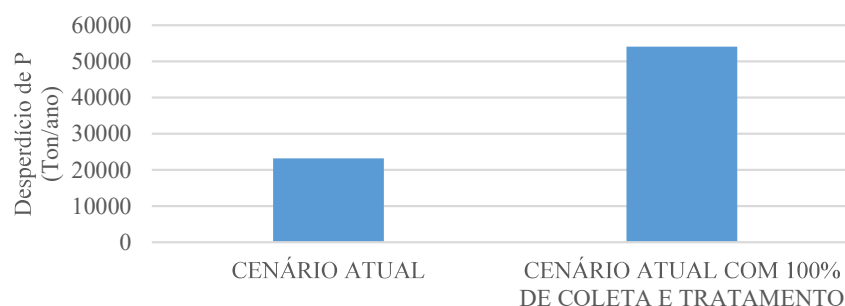


Figura 1- Comparação cenário atual com cenário com 100% de coleta e tratamento de esgoto

O cenário elaborado deixa claro que o potencial de recuperação de fósforo em águas residuárias no país é enorme, ainda mais se levarmos em consideração que no cenário elaborado calculou-se apenas a recuperação a partir do esgoto doméstico. Diversas águas residuárias de origem industrial e agropecuária possuem quantidades de fósforo ainda maior, o que torna evidente o quão necessário é a recuperação e reutilização desse elemento.

Sendo assim, para avaliar se a estruvita pode se tornar um produto explorado comercialmente no Brasil é importante avaliar os atores deste mercado, que vão determinar a oferta e demanda. Os potenciais produtores de estruvita são aqueles que realizam o tratamento de águas residuárias, podendo ser classificados como pequenos, grandes e médios. A grande maioria das empresas que atuam no ramo de venda de tecnologias para cristalização de estruvita focam em ETARs de grande porte, para que haja economia de escala e seja mais simples demonstrar a viabilidade econômica do projeto ao investidor. Esse tipo cliente é também o que enfrenta maiores problemas relacionados a incrustações e problemas em equipamentos eletromecânicos devido à precipitação espontânea de estruvita. No Brasil, os potenciais grandes produtores de estruvita estão limitados às grandes concessionárias de água e esgoto e grandes indústrias. ETARs relacionadas a atividades agropecuárias também são interessantes do ponto

de vista financeiro, pois o efluente gerado por esse tipo de atividade tem como característica altas cargas de nutrientes, ainda mais se comparado ao esgoto doméstico.

A estruvita já é vendida como fertilizante por diversas empresas, como, por exemplo, a Berlin Pflanze, vendido pela empresa Berliner Wasserbetriebe; o Crystal Green vendido pela empresa Ostara; O Bio-Stru, vendido pela empresa NureSys; e o produto estruvita, vendido pela empresa Multiform Harvest. Muitas dessas empresas oferecem a seus cliente junto ao contrato de operação a opção de compra de toda a estruvita produzida pelo sistema instalado. Tal opção tem sido bastante adotada por diversas empresa, pois diminui a responsabilidade cliente, já que em geral a venda desse tipo de produto não é sua atividade fim. Além disso, essa opção oferece segurança à empresa, que sabe que terá uma receita garantida.

4.3 Viabilidade Econômica

É importante destacar que apesar de muitas ETARs por todo o planeta já possuírem tecnologias para recuperação de estruvita, ainda existem muitas dúvidas quanto a viabilidade econômica desse tipo de empreendimento. Sem exigências e incentivos regulatórios para recuperação de nutrientes em águas residuárias, a viabilidade econômica de projetos desse tipo deve ser avaliada caso a caso. No atual cenário, definir a variável “venda de estruvita” talvez seja a tarefa mais desafiadora, visto que não existe preço definido para este produto. Apesar de um produto com 5,7% de N, 29% de P₂O₅ e 16% de Mg ter valor elevado, a estruvita não possui um produto similar ou equivalente no mercado atual, não tendo, assim, um valor de mercado definido (NYSERDA, 2006 apud CASTRO, 2014). No Brasil ainda não existe nenhuma empresa comercializando estruvita em larga escala, e, portanto, não existe parâmetro de comparação tornando-se necessário estimar o preço de mercado. Existem três maneiras de estimar o preço de mercado da estruvita que será utilizada neste cenário: (1) utilizar valores encontrados na literatura; (2) estimar valores baseado nos preços de mercado de fertilizantes tradicionais; (3) utilizar valores encontrados em sites de busca de outros países.

De acordo com Bonett e Monticelli (1998), a concentração média de nutrientes em efluente suíno se dá nos seguintes números: N = 2.374,3 mg/L e P = 577,8 mg/L. Sendo assim, conclui-se que a quantidade de nutrientes descartados ao longo do tempo no efluente da granja deste cenário é de (Tabela 3):

- Carga diária de P = 47,5 (m³/d) x 0,5778 (KgP/m³) = 27,4 Kg/d
- Carga diária de N = 47,5 (m³/d) x 2,374 (KgN/m³) = 112,8 Kg/d

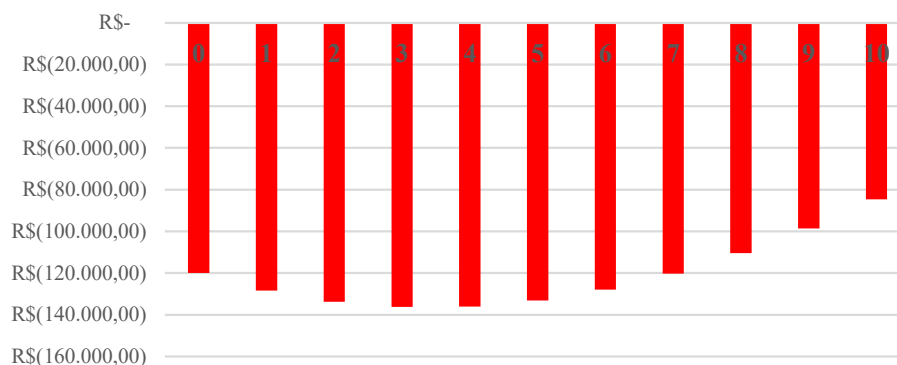
Tabela 3 - Quantidade de nutrientes descartados por dia, mês e ano na granja.

	Kg/dia	Kg/mês	Kg/ano
N	112,8	3.383,3	40.600,5
P	27,4	822	9.864

De acordo com Cornel e Schaum (2009), a recuperação de fósforo da fase líquida é limitada a 50-60%, uma vez que o resto do fósforo é removido juntamente com o lodo. Sendo assim, considerou-se o percentual médio de 55% para estimar o potencial de recuperação anual de nutrientes no cenário elaborado, ou seja, 22,3 toneladas de Nitrogênio e 5,42 toneladas de fósforo. A massa molecular da estruvita é de 245,43 g mol⁻¹ (Rahaman et al., 2014). Dividindo-se esta massa molecular pela massa molecular do fósforo tem-se a relação de 7,9g de estruvita para cada g de P. Conclui-se que, neste cenário, é possível se precipitar 42,8 ton/ano de estruvita (5,42t x 7,9 = 42,8t). Os resultados do payback

descontado indicam que no cenário chamado “real” não há retorno do investimento dentro do período estudado (Figura 2).

Figura 2 – Payback cenário real

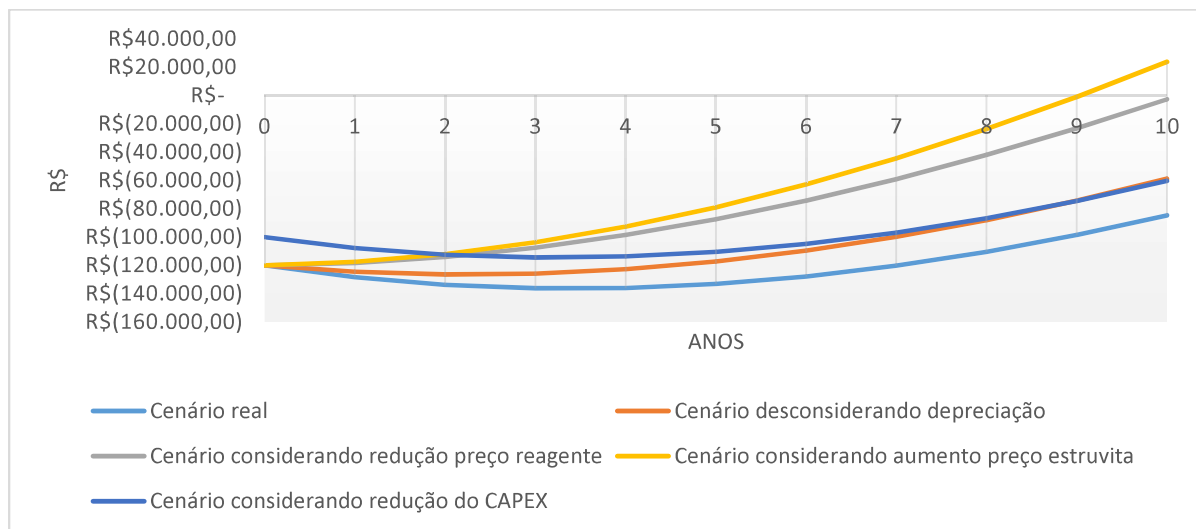


Para análise de sensibilidade das variáveis, foram realizadas as modificações destacadas na Tabela 4. Os resultados encontrados indicam que a única das variáveis que permitiria o retorno do capital no período determinado para estudo é o aumento do preço da estruvita (Figura 3). Esta variável permitiu que o payback acontecesse em aproximadamente nove anos, o que torna esse projeto viável e recomendável.

Tabela 4 – Modificações das variáveis para análise de sensibilidade

CENÁRIO	VARIÁVEL	PROPOSTO	MODIF.	JUSTIFICATIVA
1	REAL	-	-	
2	Percentual depreciação	5% a.a	Sem depreciação	Considerou-se que os benefícios obtidos com a redução dos entupimentos nas tubulações anulam a depreciação do sistema.
3	Redução preço insumos	R\$1.440,00/t	Diminuição de 20%	Considerou-se que foram encontrados outros reagentes similares de menor valor de mercado.
4	Preço estruvita	USD350,00/t	Aumento de 20%	Escassez do fósforo impulsionando o valor de mercado de fertilizantes fosfatados.
5	Redução do CAPEX	R\$120.000,00	R\$100.000,00	Evolução das tecnologias e novas empresas entrantes no mercado pressionando por redução de preços.

Figura 3 – Comparação dos cenários de viabilidade econômica



4.4 Regulamentação

Sabe-se que em muitos países, principalmente europeus, a estruvita é recuperada e comercializada há muitos anos. Foi fundamental para o desenvolvimento desse mercado nestes países a construção de um marco legal que permitisse e estimulasse o comércio. De acordo com Morse et al., 1998 e Stemann et al., 2014 (apud HUKARI; HERMANN; NATTORP, 2016), na Europa o número de tecnologias para recuperação de fósforo a partir de águas residuárias que se encontra em completa operação ou em escala piloto aumentou de 2 em 1998 para 22 em 2014. Atualmente o desafio na União Europeia é estabelecer leis aplicáveis a todo o bloco, permitindo que produtos reciclados, como por exemplo a estruvita, possam ser comercializados entre os estados-membros.

No Brasil ainda não existe uma regulamentação específica para o produto fertilizante estruvita. Sendo assim, potenciais produtores devem seguir as regras descritas na Instrução Normativa (IN) nº6, de 23 de Outubro de 2013, que estabelece critérios e etapas para, entre outras coisas, a produção e comercialização de novos produtos fertilizantes. Dentre as opções de classificações que a IN nº6 oferece, acredita-se que as que melhor se enquadrem para o produto estruvita sejam (Tabela 5):

Tabela 5 – Classificação na IN nº6 para o fertilizante estruvita.

Atividade	Prestador de serviço e outros
Categoria	Gerador de material secundário
Característica adicional	Geradora (ou revendedora)
Quanto à natureza	Fertilizante mineral
Quanto aos nutrientes	Fertilizante binário (2 primários e 1 secundário)
Quanto à categoria	Fertilizante mineral simples (produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas)
Quanto ao modo de aplicação	Via solo

O cadastro deve ser realizado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), seguindo o procedimento estabelecido pelo SIPEAGRO – Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários. Observa-se que do ponto de vista legal não há impeditivos para produção e comercialização de estruvita no Brasil. Na verdade, sequer se faz menção a esse produto, o que torna necessário a realização do seu cadastro. Se o cadastro do produto for feito dentro das condições exigidas, com os laudos analíticos com informações sobre a presença de contaminantes e seus

respectivos teores sendo apresentados, acredita-se não haver razões para a não produção e comercialização desse produto fertilizante.

5. CONCLUSÃO

O grande número de empresas explorando este mercado por todo o mundo, assim como o grande potencial de recuperação de estruvita recuperada a partir de águas residuárias permitem concluir que existe viabilidade técnica e comercial para o desenvolvimento do mercado de estruvita no Brasil. No entanto, as informações reunidas não permitem uma conclusão a respeito da viabilidade econômica de projetos relacionados a recuperação de estruvita. Os resultados encontrados no cenário desenvolvido indicam não haver viabilidade econômica, no entanto esse resultado aplica-se a um cenário apenas, devendo outros estudos ser desenvolvidos. De qualquer forma, os resultados da análise de sensibilidade indicam que estudos de viabilidade econômica desse tipo de projeto foquem nas duas variáveis que se mostraram mais relevantes para o retorno do investimento, que são os valores da tonelada de estruvita e dos produtos químicos utilizados no processo. A análise da regulamentação vigente permite concluir que atualmente não existem empecilhos legais para a produção e comercialização da estruvita no país. Contudo, destaca-se o fato de não haver qualquer registro do produto estruvita no sistema do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o que gera insegurança para possíveis investidores interessados em explorar sua produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017. ISBN: 978-85-8210-050-9
- BONETT L. P.; MONTICELLI C. J. **Suínos: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** – 2. ed., rev. – Brasília, DF : Embrapa-SPI; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1998. 243 p. : il. – (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). ISBN 85-7383-040-9
- CASTRO, S. R. **Precipitação de estruvita:** recuperação de nitrogênio e fósforo utilizando fontes alternativas de reagentes. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2014.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J-O.; WHITE, S. **The story of phosphorus:** global food security and food for thought. *Global environmental change*, v. 19, n. 2, p. 292-305, 2009.
- CORNEL, P.; SCHAUM, C. **Phosphorus recovery from wastewater:** needs, technologies and costs. *Water Science & Technology*, 59(6), 1069–1076. 2009.
- DIAS, A. C. **Manual Brasileiro de Boas Práticas Agropecuárias na Produção de Suínos.** Elaboração de Conteúdo Técnico. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 2011.
- FATTAH, K. P. **Assessing Struvite Formation Potential at Wastewater Treatment Plants.** *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 6. 2012.
- HUKARI, S.; HERMANN, L.; NÄTTORP, A. **From wastewater to fertilisers** - Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling. *Science of the Total Environment*; 542, 1127–1135. 2016.
- LUPINACCI, F. **Estudo sobre a sazonalidade nas importações de fertilizantes no Brasil e dos valores de frete na rota Santos a Araçatuba.** Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2012.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** McGraw Hill Brasil, 2016.
- MONTAG, D. **Phosphorus Recovery in Wastewater Treatment Development of a Procedure for Integration into Municipal Wastewater Treatment Plants.** Tese de Doutorado. Dissertation from der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008.



Sustentabilidade Urbana

14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires



MOTA F. S. B.; von SPERLING M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. ISBN: 978-85-7022-164-3.

NIEMINEM J. **Phosphorus recovery and recycling from municipal wastewater sludge.** Master of Science thesis. Aalto University, School of Science and Technology, 2010.

OYAMA, C. **Nutrientes da urina humana como fertilizante agrícola: análise de viabilidade econômica sobre um modelo de produção baseado na Economia Solidária e na Agricultura Familiar.** Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo. 2013.

RAHAMAN, M. S.; MAVINIC, D. S.; MEIKLEHAM, A. ELLIS, N. **Modeling phosphorus removal and recovery from anaerobic digester supernatant through struvite crystallization in a fluidized bed reactor.** Water Research, v. 51, 2014.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering treatment and reuse.** Boston, US: McGraw-Hill Higher Education, 2003.