

1334 - POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE LODO PROVENIENTE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO ESTADO DA BAHIA

Quize Maia da Costa⁽¹⁾

Engenheira sanitária e ambiental (UFBA); Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (UFBA).

Alisson Meireles Brandão⁽²⁾

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Univ. Estadual de Feira de Santana/BA. Pesquisador da Rede de Tecnologias Limpas (Teclim). Engenheiro Sanitário e Ambiental pela Univ. Federal da Bahia. Funcionário da Empresa Baiana de Águas e Saneamento - EMBASA. Experiência em Desenvolvimento de Projetos, principalmente nos seguintes temas: gestão de ativos no saneamento, tecnologias limpas, meio ambiente, reuso de água, qualidade da água e saneamento ecológico.

Severino Evangelista Neto⁽³⁾

Engenheiro Sanitário e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (Campina Grande, 2010), tem MBA Executivo em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (Rio de Janeiro, 2021) sendo mestrando em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo programa. É funcionário da Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA e acumula experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em tratamento de efluentes industriais, operação de Sistemas públicos de água e esgoto e fiscalização e acompanhamento de obras de abastecimento de água e sistema coletor de efluentes domésticos.

Francisco Ramon Alves do Nascimento⁽⁴⁾

Doutor Engenharia Industrial da Escola Politécnica da UFBA (PEI/UFBA). Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. Pesquisador e líder da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM-UFBA).

Eduardo Henrique Borges Cohim Silva⁽⁵⁾

Doutor em Energia e Meio Ambiente. Professor Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana. Pesquisador da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM/UFBA)

Endereço⁽¹⁾: Rua da Gratidão, 290, Condomínio Colina de Piatã 3B, Piatã - Salvador - Bahia – 41650-195 - Brasil - Tel: +55 (71) 99404-5207 - e-mail: quizemaia@gmail.com

RESUMO

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o lodo de esgoto deve ser reciclado e tratado para usos benéficos, ao invés de ser descartado em aterros sanitários. Embora os usos benéficos do lodo representem um desafio a nível nacional, é possível identificar experiências bem-sucedidas em alguns estados brasileiros. No Estado da Bahia existe um vasto campo para ampliação dos usos benéficos do lodo das ETEs, gerando um cenário oportuno para reunir as informações necessárias ao estudo de sua viabilidade. Diante deste contexto, uma metodologia desenvolvida para determinar o potencial de utilização do lodo para usos benéficos foi aplicada na Bahia. O aproveitamento do lodo para usos benéficos foi determinado a partir da caracterização da oferta do lodo pelas ETEs e da demanda por lodo em usos benéficos na área de abrangência do estudo. Referente à oferta, 62% do lodo é gerado em ETEs de pequeno porte, o que representa uma dispersão da oferta. Essa situação apresenta uma possibilidade para a gestão descentralizada de lodo, o que gera uma oportunidade para suprir demandas de aproveitamento de lodo em diversas regiões. Quanto à caracterização da demanda, identificou-se que 87% das oportunidades estão direcionadas para uso agrícola do lodo como bioassólido, seguida pelo uso do lodo na indústria ceramista. Considerando um cenário em que 107 municípios atualmente atendidos por redes de esgoto tivessem 90% de cobertura em áreas urbanas, o potencial de aproveitamento benéfico do lodo foi superior a 100 mil toneladas por ano. Dentre eles, apenas sete municípios apresentam oferta de lodo superior à demanda por lodo, o que permite concluir que o potencial de uso benéfico do lodo pode gerar benefícios relevantes ligados à expansão do sistema de coleta e tratamento de esgoto no estado da Bahia, dado o grande potencial para absorção de lodo nas demandas identificadas. Os municípios de Vitória da Conquista, Camaçari e Feira de Santana apresentaram o maior potencial, respectivamente em: aproveitamento agrícola, demanda industrial e recuperação de áreas degradadas.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Lodo de Esgoto, Embasa, Uso benéfico, Bioassólidos.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que a disposição final de rejeitos em aterros sanitários é a última opção na ordem de prioridades para fins de gestão de resíduos sólidos. No caso do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETEs), deve-se primeiro buscar a sua reciclagem e tratamento para fins de aproveitamento em usos benéficos. Além disso, a disposição em aterros não é uma prática sustentável, uma vez que apresenta custos elevados em função de maiores distâncias, além do atendimento às crescentes restrições ambientais.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, cerca de 63% dos resíduos sólidos de ETEs são destinados para aterro sanitário, 21% são lançados em terreno baldio, lixão ou aterro controlado, e menos de 2% são reciclados no Brasil. Apesar do aproveitamento do lodo em usos benéficos se apresentar como um desafio a nível nacional, é possível identificar experiências bem-sucedidas em alguns Estados. São Paulo e Paraná apresentam experiências de aplicação do lodo na agricultura, em culturas de café e milho. Em Brasília, o lodo é aplicado em jardins e parques da cidade. Por fim, Minas Gerais apresenta a utilização deste resíduo no condicionamento de solos e aproveitamento energético.

Na Bahia, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 37% dos municípios atendidos pela Embasa apresentam serviço de esgotamento sanitário, e destes, 94% possuem tratamento de esgoto. Diante do Novo Marco Legal do Saneamento no Brasil que definiu a meta de cobertura do atendimento de esgotamento sanitário para 90% até 2033, espera-se um aumento do volume de lodo gerado nas ETEs. Portanto, apresenta-se um vasto campo de ampliação dos usos benéficos dos lodos das ETEs baianas, gerando um cenário oportuno para se levantar as informações necessárias afim de estudar a viabilidade do aproveitamento do lodo nesses usos.

Diante deste contexto, uma metodologia desenvolvida para determinar as potencialidades de aproveitamento de lodo para usos benéficos foi aplicada na Bahia. Considerando um cenário em que municípios que hoje são atendidos por esgotamento sanitário apresentassem 90% de cobertura em zona urbana, o potencial de aproveitamento foi mais de 100 mil toneladas anuais. Os municípios de Vitória da Conquista, Camaçari e Feira de Santana apresentaram os maiores potenciais de aproveitamento de lodo, respectivamente em: uso agrícola, demanda industrial e recuperação de áreas degradadas.

A fim de que o aproveitamento de lodo de ETE em usos benéficos ganhasse escala no Estado da Bahia, focou-se em ações que pudesse promover a criação de mais exemplos bem-sucedidos. Dessa forma, vislumbrou-se a aplicação de uma ferramenta de suporte à decisão para o manejo eficiente de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto operados pela Embasa.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo a aplicação de uma metodologia capaz de diagnosticar, mapear e avaliar as alternativas potenciais de aproveitamento de lodo para usos benéficos em solos baianos. Para tanto, inicialmente buscou-se caracterizar a oferta do lodo por meio de dados relativos ao manejo de lodo nas ETEs da Embasa. Em seguida, a caracterização da demanda foi realizada por meio de levantamento de dados públicos disponíveis a nível federal, estadual e municipal. Por fim, a construção do potencial de aproveitamento do lodo na área de abrangência foi possível, por meio da ponderação das cadeias de oferta e demanda na região. Tais práticas fornecem subsídios para diversas frentes de planejamento a fim de valorizar os resíduos, assim como responder à necessidade de uma gestão efetiva dos resíduos sólidos e manejo ambientalmente adequado de ETE e seus biossólidos.

OBJETIVOS

Apresentar metodologia desenvolvida e aplicada para determinação do potencial de aproveitamento de lodo gerado nas ETEs na Bahia, em usos benéficos alternativos à disposição final, por meio de diagnósticos dos sistemas de tratamento e de suas áreas de influência, avaliação cruzada de dados de oferta e demanda de lodo e análise das soluções espacializadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os parâmetros de interesse para o aproveitamento do lodo e seus respectivos critérios de qualidade, tratamento e monitoramento para o desenvolvimento do estudo foram identificados por meio de dados secundários e primários. Os dados secundários foram levantados a partir de bibliografias técnicas e acadêmicas, normas e legislações vigentes, além de dados da Embasa referente às Estações de Tratamento de Efluentes. Já os dados primários foram obtidos em visitas técnicas às ETEs contempladas no Recorte Amostral. A fim de organizar e padronizar os dados disponíveis ou preencher lacunas de informação, algumas premissas foram adotadas.

No âmbito da oferta do lodo, premissas foram estabelecidas relativas ao:

- **Porte e a faixa de vazão** - onde as ETEs são classificadas por faixas de vazão.
- **Níveis de tratamento da fase líquida** - onde o tratamento do efluente é classificado em: primário, secundário, secundário avançado, terciário e avançado.
- **Tipo de lodo produzido** - onde o lodo é classificado em primário, biológico ou misto.
- **Quantidade de lodo produzido** - onde a geração de lodo pelas ETEs é estimada por meio de expressões de cálculo consolidadas na literatura a partir da produção per capita diária de sólidos suspensos e demanda bioquímica de oxigênio na ausência de dados disponíveis.
- **Tratamento do lodo** - onde o nível deste tratamento é classificado em: adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento, higienização, destinação ou disposição final.

A fim de caracterizar a demanda por lodo para usos benéficos, definiu-se um raio de influência de 30km a partir das ETEs, no qual os potenciais usuários do lodo foram identificados. As premissas adotadas na caracterização da demanda foram de acordo com o uso benéfico estudado:

- **Uso agrícola e recuperação de áreas degradadas:**
 - Critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biofertilizantes em solos conforme Resolução Conama nº 498/2020.
 - Identificação das Áreas de Unidades de Conservação (UC) e as Áreas de Preservação Permanente (APP).
 - Identificação das principais atividades rurais, uso e ocupação do solo, e características pedológicas: profundidade, textura superficial e drenagem do solo.
- **Uso na Construção Civil:**
 - Identificação de indústrias cimenteiras e ceramistas.
- **Aproveitamento Energético:**
 - Identificação da etapa de digestão anaeróbia de lodos ativados nas ETEs

Mapas referentes às principais atividades rurais desenvolvidas por unidade regional, o uso e ocupação do solo, bem como as características pedológicas e restrições ambientais foram elaborados para melhor visualização dos resultados. A Tabela 1 apresenta as bases cartográficas, e outros dados secundários utilizadas no estudo.

Tabela 1: Bases Cartográficas e dados secundários utilizados na elaboração dos mapas.

CAMADA	FORMATO	TIPO	FONTE	ANO
Áreas Irrigadas	Shapefile	Polígono	ANA	2017
ETEs da Bahia - Copesa	Shapefile	Ponto	Embasa	2019
ETEs Visitadas	Shapefile	Ponto	Elaboração própria	2020
Hidrografia	Shapefile	Linha	IBGE/ANA	2017
Imóveis Rurais - Atividade	Shapefile	Polígono	INEMA	2019

desenvolvida				
Limites Estaduais	Shapefile	Polígono	IBGE	2019
Limites municipais do Estado da Bahia	Shapefile	Polígono	IBGE	2019
Mapa de solos	Shapefile	Polígono	Embrapa	2011
Mapbiomas	Raster	-	Projeto Mapbiomas (Coleção 5)	2019
Municípios atendidos pela Embasa	Shapefile	Polígono	Embasa	2019
Regionais da Embasa	Shapefile	Polígono	Embasa	2019
Localização das indústrias cerâmicas	.xls	-	FIEB	2021
Localização das indústrias cimenteiras	.xls	-	FIEB	2021
Unidades de Conservação	Shapefile	Polígono	MMA	2018
Polígonos de Atividades do CEFIR	Shapefile	Polígono	CEFIR	2019
Legislação	-	-	Presidência da República, Conama, ICMBio, Ibama	2021

Essa metodologia foi aplicada na área de abrangência da Embasa, composta por 367 municípios baianos que apresentam sistema de abastecimento de água. Destes, 114 municípios são contemplados por sistema de esgotamento sanitário, cujas ETEs foram estudadas referente à produção e gestão dos resíduos sólidos. A fim de planejar e gerir os serviços públicos ofertados, a área de abrangência da prestadora é composta por 19 Unidades Regionais (UR), das quais 13 URs estão distribuídas no interior, e 6 URs estão presentes na Região Metropolitana de Salvador, conforme exposto na Figura.

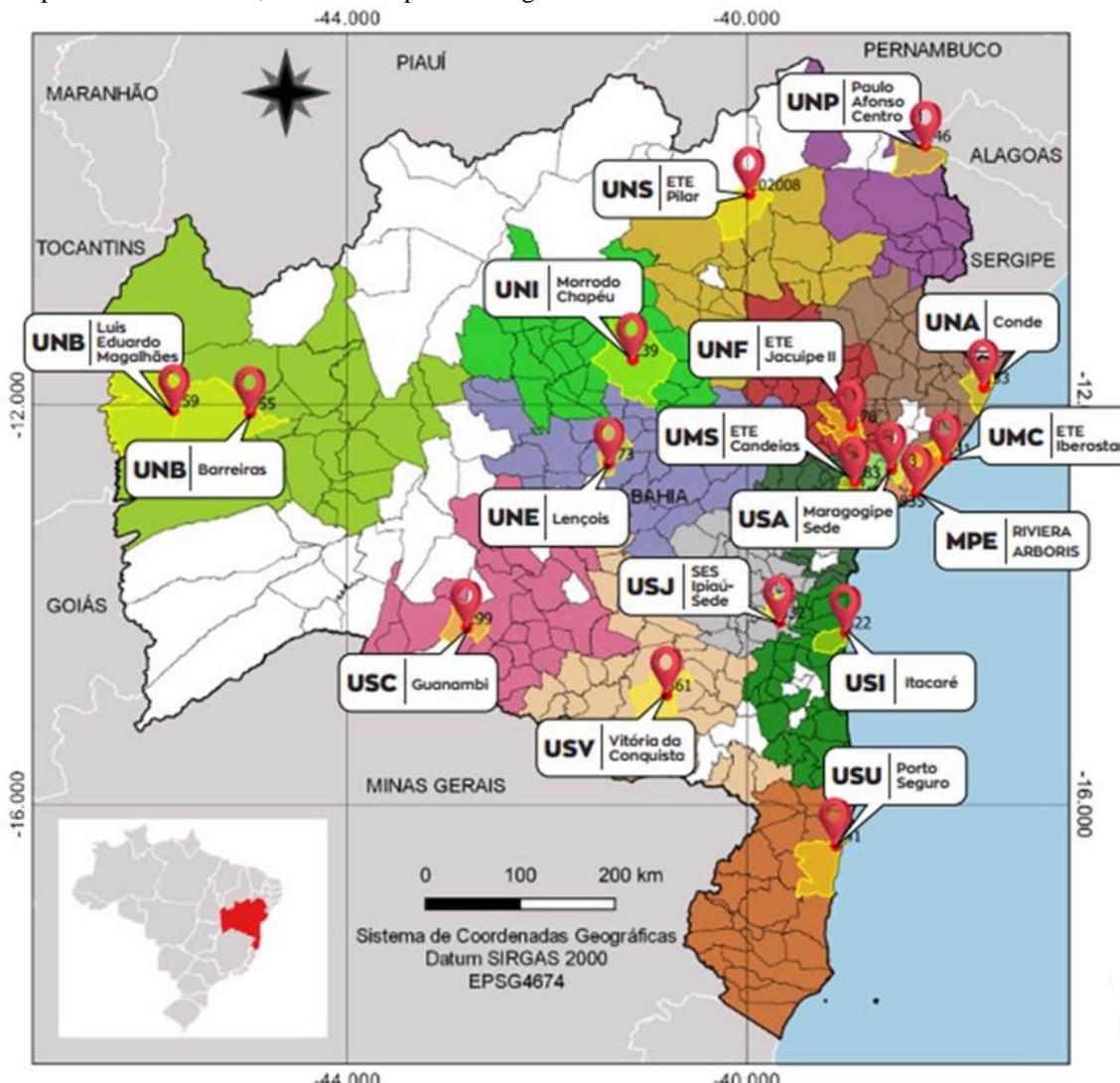


Figura 1: Localização da área de abrangência do estudo.

Além das etapas citadas, a fim de consolidar o levantamento das informações das ETEs, um recorte amostral foi definido composto por pelo menos uma ETE em cada UR para a realização de visita técnica para coleta de dados primários em campo, totalizando 18 ETEs visitadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DA OFERTA DO LODO

A fim de caracterizar a oferta do lodo, critérios foram estabelecidos considerando informações relacionadas ao: porte e a faixa de vazão, níveis de tratamento da fase líquida, tipo de lodo produzido, quantidade de lodo produzido, e tratamento do lodo. A aplicação desses critérios nos dados referentes à área de abrangência, que identificou um universo de 372 Estações de Tratamento de Esgotos em operação, culminou nos seguintes resultados.

- **PORTE E A FAIXA DE VAZÃO**

A partir da análise da vazão média diária das ETEs referentes ao ano de 2019 fornecidas pela Embasa, observou-se que 97,4% delas são de pequeno porte. Portanto, optou-se por classificá-las por faixa de vazão para uma melhor avaliação. A Tabela 1 apresenta o perfil das ETEs conforme sua faixa de vazão segundo o padrão de classificação adotado. Apenas duas ETEs não informaram seus dados.

Tabela 2: Classificação das ETEs por vazão

VAZÃO (L/S)	Nº ETEs
0 a 4	252
4 a 8	50
8 a 12	8
12 a 16	17
16 a 20	7
20 a 100	28
> 100	8
TOTAL	370

Observa-se que 67,4% das ETEs estão situadas na faixa de vazão entre 0 e 4 L/s, confirmando a tendência ao menor porte das ETEs. Contudo, destacam-se os sistemas que apresentaram vazões acima de 100 L/s e que atendem a 35,5% da população na área de abrangência: ETE Vitória da Conquista, ETE Jequié, ETEs Subaé, Jacuípe I e Jacuípe II em Feira de Santana, ETE Itaberaba, ETE Barreiras e ETE Centro em Ilhéus.

- **NÍVEL DE TRATAMENTO DA FASE LÍQUIDA**

A partir da análise dos dados disponibilizados das ETEs referente ao tratamento da fase líquida, observa-se que 64% das ETEs da Embasa apresentam configurações que proporcionam ao efluente sanitário um tratamento de nível secundário e 35% apresentam nível primário de tratamento. Apenas 1% foi classificado como secundário avançado.

- **QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDO**

A estimativa da geração anual de lodo agregado por unidade regional da EMBASA, destacando o número de ETEs por UR é apresentado no Gráfico 1.



33º CONGRESSO DA ABES
Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025
Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental

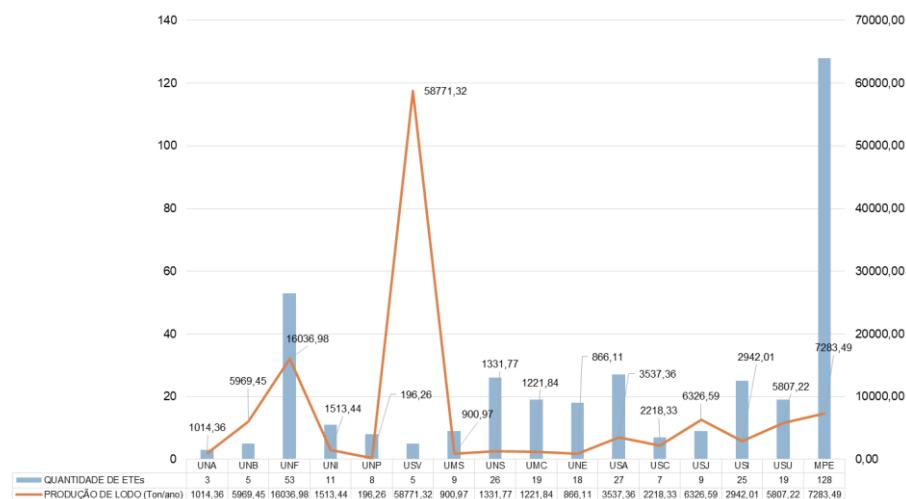


Gráfico 1: Geração anual de lodo e número de ETEs por Unidade Regional.

A partir da análise dos dados disponibilizados, observa-se que a geração total de lodo nas ETEs da Embasa é de cerca de 116 mil ton/ano de lodo. Observa-se que dentre as 374 estações da Embasa, 13 ETEs produzem lodo acima de 1.000 ton/ano conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: ETEs com produção de lodo acima de 1.000 ton/ano.

ETE	Unidade Regional	PRODUÇÃO DE LODO (t/ano)
Subaé	Feira de Santana	4.593,27
Jequié	Jequié	4.427,23
Jacuípe II	Feira de Santana	3.758,15
Barreiras	Barreiras	3.524,99
Jacuípe I	Feira de Santana	3.458,76
Porto Seguro	Itamaraju	2.751,49
Vitória da Conquista	Vitória da Conquista	2.123,28
Teixeira de Freitas – Sede	Itamaraju	1.805,66
Luís Eduardo Magalhães	Barreiras	1.729,33
Guanambi – Sede	Caetité	1.722,33
Santo Estevão	Feira de Santana	1.616,01
Centro (em Ilhéus)	Itabuna	1.405,98
Itamaraju	Itamaraju	1.396,23

A produção total destas ETEs representa 55% do lodo produzido pelas ETEs da Embasa (34.313 ton/ano). Destaca-se que 07 ETEs são de médio porte (entre 100 L/s e 500 L/s) e 06 são de pequeno porte.

• CARACTERIZAÇÃO DO LODO PRODUZIDO

A partir da identificação da etapa de tratamento do efluente em que o lodo é gerado, é possível caracterizá-lo como primário, biológico ou misto. Dessa forma, o lodo produzido nas 374 ETEs foram caracterizados conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 4: Tipo de lodo em função do sistema de tratamento da fase líquida.

TRATAMENTO DO EFLUENTE	Nº ETEs	TIPO DE LODO
UASB	96	Lodo Biológico
UASB + Filtro Anaeróbio	4	Lodo Biológico
UASB + Filtro Aerado Submerso + Decantador (com ou sem desinfecção)	6	Lodo Biológico
UASB + Lagoas de Estabilização	56	Lodo Biológico
UASB + Lagoa de Estabilização + Outro	1	Lodo Biológico
UASB + Wetlands	7	Lodo Biológico
UASB + Lodos Ativados	36	Lodo Biológico

UASB + Lodos Ativados + Outros	64	Lodo Biológico
UASB + Lodo ativado (para nitrificação)	3	Lodo Biológico
UASB + Outros	19	Lodo Biológico
		Lodo Primário/Biológico
Sistema de Lagoas	38	Lodo Biológico
Lodos Ativados	2	Lodo Misto
Lodo Ativado de aeração Prolongada	2	Lodo Biológico
Tanque Imhoff	12	Lodo Primário
Tanque Imhoff + UASB	8	Lodo Primário/Biológico
Tanque Imhoff + Outros	13	Lodo Primário
		Lodo Primário/Biológico
ETE Compacta	3	Lodo Biológico
Outros	4	Lodo Primário/Biológico

Observa-se que 80% das ETEs apresenta UASB de forma isolada ou complementada por outros processos de tratamento. Essas ETEs geram mais de 48 mil toneladas por ano de lodo, 77% do total produzido na área de abrangência da Embasa. O UASB proporciona um lodo biológico, exceto quando ele é associado ao Tanque Imhoff, que produz um lodo primário.

Quanto à necessidade de tratamento adicional para aproveitamento em usos benéficos, o lodo biológico precisa apenas da etapa de desidratação para os usos benéficos estudados, com exceção do uso agrícola como biofertilizante, que exige a higienização do lodo.

- **MANEJO DO LODO**

Nessa seção serão apresentados os resultados referentes ao tipo de tratamento existente na fase sólida, e a frequência de remoção do lodo nas ETEs da Embasa. O Gráfico 2 apresenta a distribuição das ETEs por tipo de tratamento do lodo.

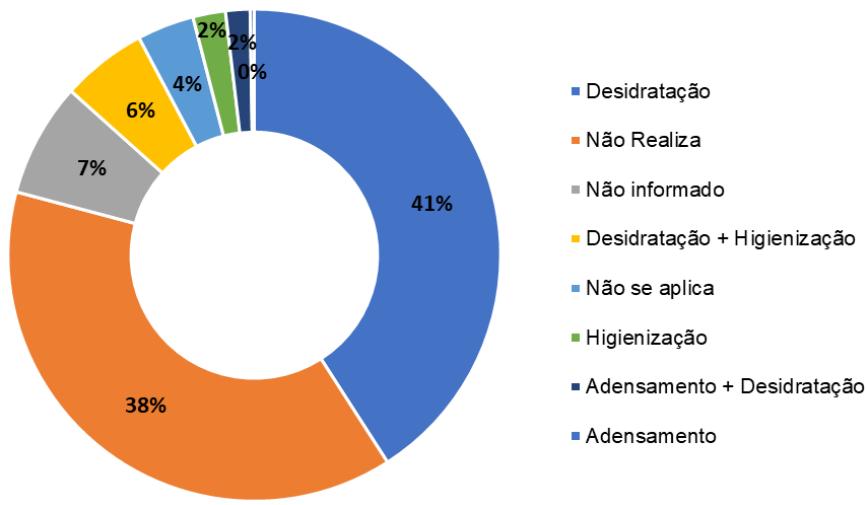


Gráfico 2: Tipo de tratamento do lodo presente nas ETEs.

Observa-se que 38% não possuem formas de tratamento para o lodo e que 48% das ETEs da Embasa apresentam desidratação de forma exclusiva ou associada com outros processos de tratamento. Elas são responsáveis pelo tratamento de cerca de 81% do lodo gerado na Embasa, que representa mais de 50 mil t/ano. A etapa de desidratação é uma das etapas essenciais de tratamento da fase sólida o que implicará na diminuição de custos de implantação das etapas necessárias ao tratamento do lodo para uso benéfico.

Das 13 ETEs mencionadas com produção acima de 1.000 ton/ano, as ETEs Jacuípe II, Santo Estevão e Guanambi – Sede já possuem as etapas necessárias ao tratamento da fase sólida, composto pela desidratação e higienização, produzindo 7.096,48 ton/ano de lodo, cerca de 11,30% do total produzido.

Quanto à frequência de remoção do lodo para fins de disponibilidade para seu aproveitamento em uso benéfico, o Gráfico 3 apresenta sua distribuição nas ETEs da área de abrangência.

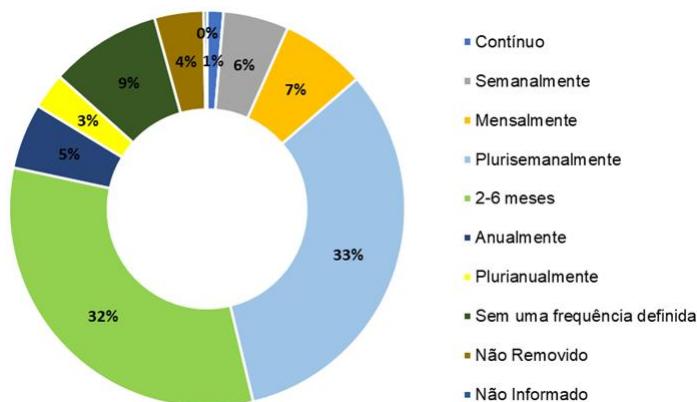


Gráfico 3: Frequência de remoção do lodo nas ETEs.

Verifica-se que a maioria das ETEs removem o lodo com uma frequência que varia de plurisemanalmente (33% das ETEs) ou entre 2 e 6 meses (32% das ETEs). Essas estações representam a geração de cerca de 55% do lodo na área de abrangência. Devido ao intervalo de disponibilidade do lodo, infere-se que haverá necessidade de estratégias para regulação da oferta do lodo para usos benéficos.

CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA POR USOS BENÉFICOS

Estimativas foram realizadas a fim de caracterizar a demanda por usos benéficos do lodo proveniente das ETEs da Embasa, sendo eles: uso agrícola e recuperação de áreas degradadas, uso industrial (indústria cimenteira e ceramista) e aproveitamento energético. Elas foram identificadas no raio de influência de 30km de cada ETE nas Unidades Regionais na área de abrangência.

Para fins de avaliar o uso do lodo como biofertilizante no solo, primeiramente foi levantando a representatividade das classes de solo no entorno das ETEs conforme apresentado no Gráfico 05. Observa-se a forte presença de solos do tipo: latossolos (31,3%), argissolos (18,7%) e planossolos (17,3%).

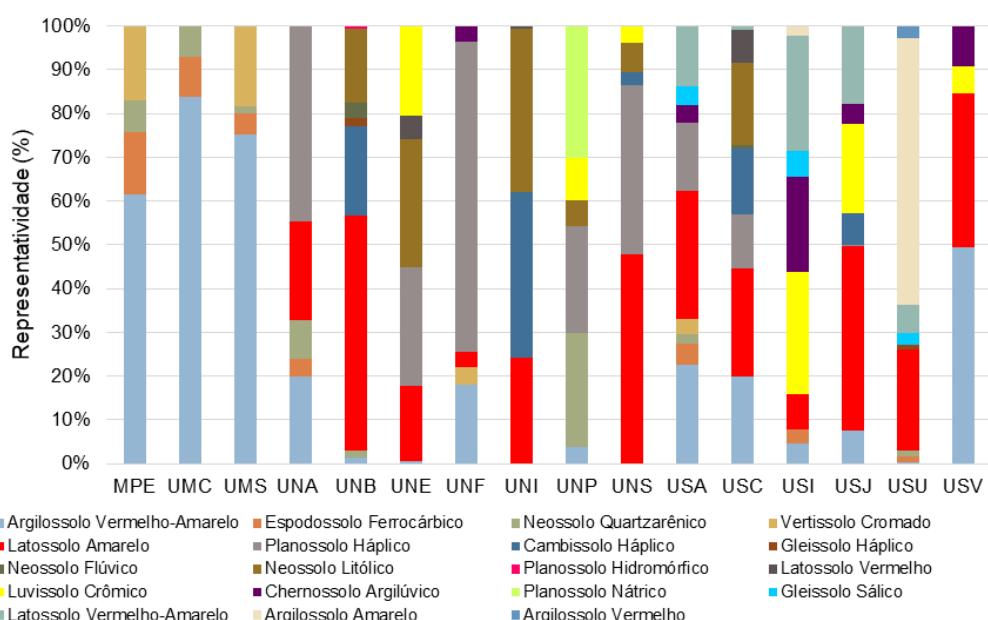


Gráfico 4: Representatividade das classes de solos na área de abrangência por Unidade Regional.



Além da aptidão dos solos para o uso de biofertilizantes, o tipo de uso e ocupação do solo também foi avaliado na área de abrangência, conforme apresentado no Gráfico 7. Observa-se a predominância de atividades agropecuárias (agricultura, criação de animais e silvicultura), representando 47,4% da área de abrangência. As “áreas não vegetadas” representam as áreas de mineração que demandam recuperação, que por sua vez apresentam maior representatividade nas URs de: Salvador (17%), Camaçari (11%), e Candeias (6%)

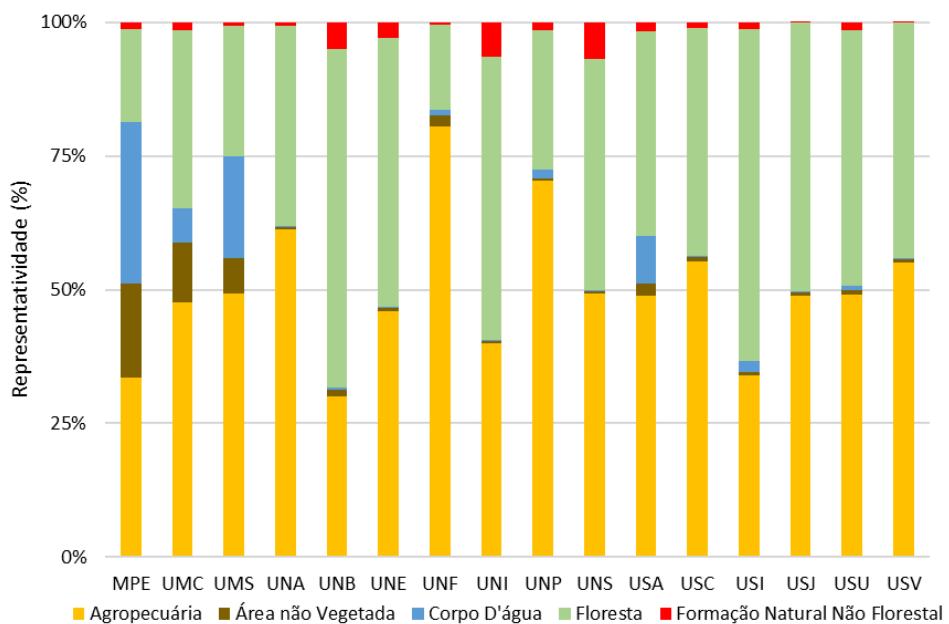


Gráfico 5: Representatividade do uso e cobertura do solo na área de abrangência por Unidade Regional.

Considerando as disposições da Resolução Conama nº 498/2020 e as culturas classificadas no CEFIR, foi possível estabelecer a demanda de biofertilizantes por Classe A/B no estado da Bahia, conforme apresentado na Figura 2. Observa-se que a maioria das áreas do estado apresentam culturas que podem receber biofertilizantes de Classe B, que exigem processos de obtenção e critérios de qualidade mais simples quando comparados àqueles de Classe A. As áreas em branco são aquelas em que não há dados cadastrados.

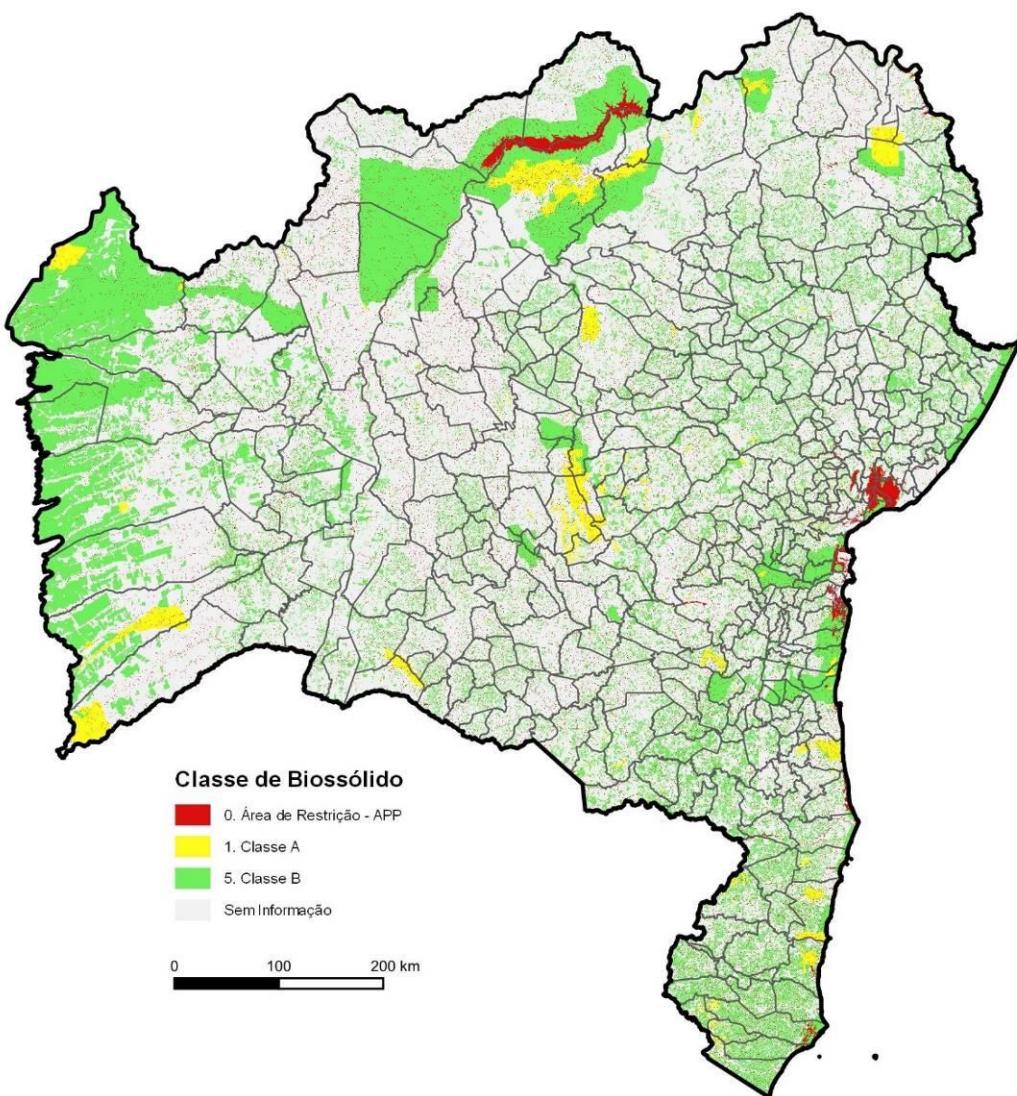


Figura 2: Demanda de biossólidos por Classe A/B, conforme a Resolução Conama nº 498/2020.

Quanto ao uso industrial, foram identificadas apenas duas indústrias cimenteiras no Estado, contudo, apenas a indústria localizada no município de Campo Formoso apresenta forno de clínquer e realiza coprocessamento no processo de fabricação de cimento. Conforme dados fornecidos pela FIEB, ela representa 99,9% do faturamento entre as indústrias cimenteiras da Bahia, configurando-se assim como a maior do estado.

A partir do Guia Industrial da FIEB, as indústrias cerâmicas também foram identificadas. Aquelas cujos produtos são voltados para a construção civil foram selecionadas para compor o estudo. Conforme as informações disponibilizadas pela FIEB, obteve-se uma lista composta por 160 empresas, distribuídas em 90 municípios da Bahia. A Figura 3 ilustra a localização das indústrias presentes no estado da Bahia, assim como sua localização na área de influência das ETEs.

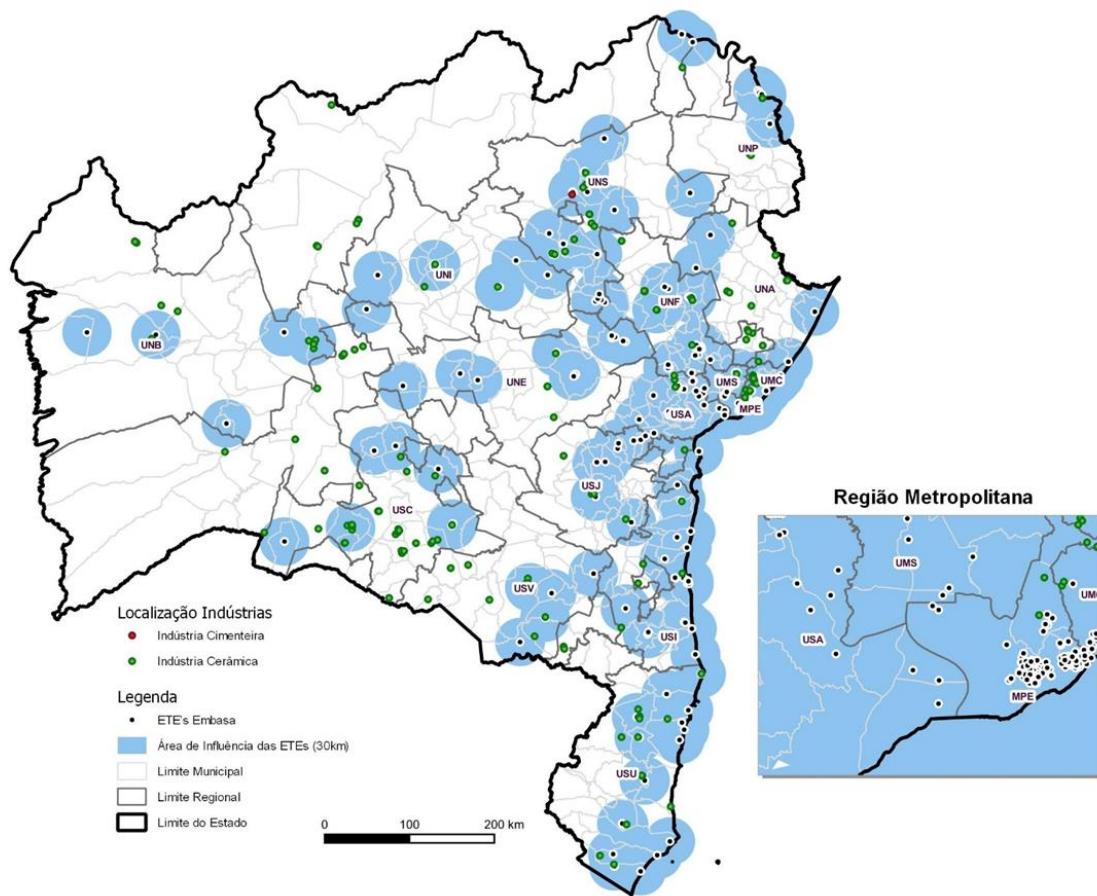


Figura 3: Localização das indústrias ceramistas e cimenteira na Bahia e área de influência das ETEs.

Com relação ao aproveitamento energético, apenas as ETEs Ponta de Nossa Senhora (UR Candeias) e Caraíbas Metais (UR Senhor do Bonfim) apresentaram as características necessárias para a geração de biogás a partir do lodo de sistema de lodos ativados. O poder calorífico do biogás gerado pelas ETEs foram: 7.449MJ/ano e 1.858.541MJ/ano, respectivamente, calculados a partir do balanço de massa e energia do digestor anaeróbio. Destaca-se que, após a obtenção do biogás, o lodo precisa de uma destinação/ disposição adequada.

Conforme apresentado na Tabela 3, uma vez estimado a demanda total por lodo para cada uso benéfico, o uso agrícola do lodo como biofertilizante representa 87% das oportunidades, portanto, a demanda majoritária por lodo na área de abrangência. Em seguida, 6% e 5% da demanda por lodo são referentes ao uso na indústria ceramista e uso como biofertilizante na recuperação de áreas degradadas.

Tabela 5: Demanda total por lodo para cada uso benéfico.

USO BENÉFICO	DEMANDA DE LODO (t/ano)	PREMISSAS ADOTADAS
Uso Agrícola	1.632.102	Taxas de aplicação diversas, de acordo com o tipo de cultura
Indústria Ceramista	103.456	Incorporação de lodo em 15% em massa
Recuperação de áreas degradadas	91.815	Taxa de aplicação de 2,50 t/ha no 1º ano.
Indústria Cimenteira	47.520	Substituição da matriz energética de 27% com o uso de combustíveis alternativos
Biogás	358	Sistema de tratamento da fase líquida: Lodos ativados convencional.
TOTAL	1.875.251	

De forma complementar, verificou-se que em 50% das 18 ETEs visitadas, houve relatos de algum tipo de contato ou possibilidade de parcerias em atividades de empresas/ instituições localizadas no entorno das estações para a aproveitamento do lodo,

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO

Os critérios de oferta subsidiaram na determinação de fatores de influência para determinação do potencial de oferta. Pesos foram estabelecidos a fim de ponderar a influência desses fatores na disponibilidade da massa total de lodo e na necessidade de investimento e infraestrutura para tratamento da fase sólida. Os fatores definidos foram: (i) massa de lodo gerada; (ii) frequência de remoção; (iii) nível de tratamento necessário para o uso benéfico

FATOR DE INFLUÊNCIA	ID	CARACTERÍSTICA DO FATOR DE INFLUÊNCIA	FATOR DE PONDERAÇÃO
MASSA DE LODO GERADA	OF1	Massa de lodo gerada em t/ano	1
FREQUÊNCIA DE REMOÇÃO DO LODO	OF2	Diariamente, contínuo, semanalmente, plurisemanalmente, mensalmente	1
		2-6 meses	0,8
		Anualmente, plurianualmente	0,5
		Não removido, sem frequência definida	0,3
TRATAMENTO NECESSÁRIO PARA USO BENÉFICO	OF3	Implantação de uma etapa de tratamento da fase sólida ou existência de toda a infraestrutura do tratamento necessário para fase sólida	1
		Implantação de duas etapas de tratamento da fase sólida	0,5
		Implantação de três etapas de tratamento da fase sólida	0,3
		Implantação de quatro etapas de tratamento da fase sólida	0,1

Figura 4: Tempo de detenção hidráulico (TDH) Figura 2: Fatores de influência e sua ponderação para definição da oferta potencial de lodo pelas ETEs.



A fim de determinar o potencial de demanda, cinco fatores de influência ponderados foram utilizados para avaliar a predisposição do uso benéfico para o recebimento do lodo: (i) aptidão do solo; (ii) áreas de mineração; (iii) predisposição ao uso industrial; e (iv) aproveitamento energético; e restrição legal. Os fatores de influência definidos, assim como suas respectivas ponderações, são apresentados na Figura 2

FATOR DE INFLUÊNCIA	ID	CARACTERÍSTICA DO FATOR DE INFLUÊNCIA	FATOR DE PONDERAÇÃO	
APTIDÃO DO SOLO	DE1	Alta aptidão	1	
		Média aptidão	0,5	
		Baixa aptidão	0,1	
ÁREAS DE MINERAÇÃO	DE2	Áreas não vegetadas	1	
PREDISPOSIÇÃO AO USO INDUSTRIAL	PREDISPOSIÇÃO NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA	DE3.1	Indústrias cimenteiras inseridas no estado da BA	1
	PREDISPOSIÇÃO NA INDÚSTRIA CERÂMICA	DE3.2	Indústrias cerâmicas inseridas no estado da BA	1
APROVEITAMENTO PARA A GERAÇÃO BIOGÁS	DE4	Presença do sistema de lodos ativados convencional + viabilidade em função do número de habitantes	1	
		Presença do sistema de lodos ativados convencional	0,5	
		Não apresenta viabilidade para geração de biogás a partir do lodo	0	
RESTRIÇÃO LEGAL - ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	RL	Inserido	0	
		Não Inserido	1	

Figura 5: Fatores de influência e sua ponderação para definição da demanda potencial por lodo em usos benéficos.

As avaliações ponderadas de oferta e demanda do lodo culminaram no potencial de aproveitamento do lodo, considerando um cenário em que todos os municípios atendidos com o esgotamento sanitário apresentem uma cobertura de 90% na zona urbana. O potencial foi determinado segundo valor mais restrito entre a oferta e a demanda ponderada para cada município, conforme ilustrado no fluxograma apresentado na Figura 4.

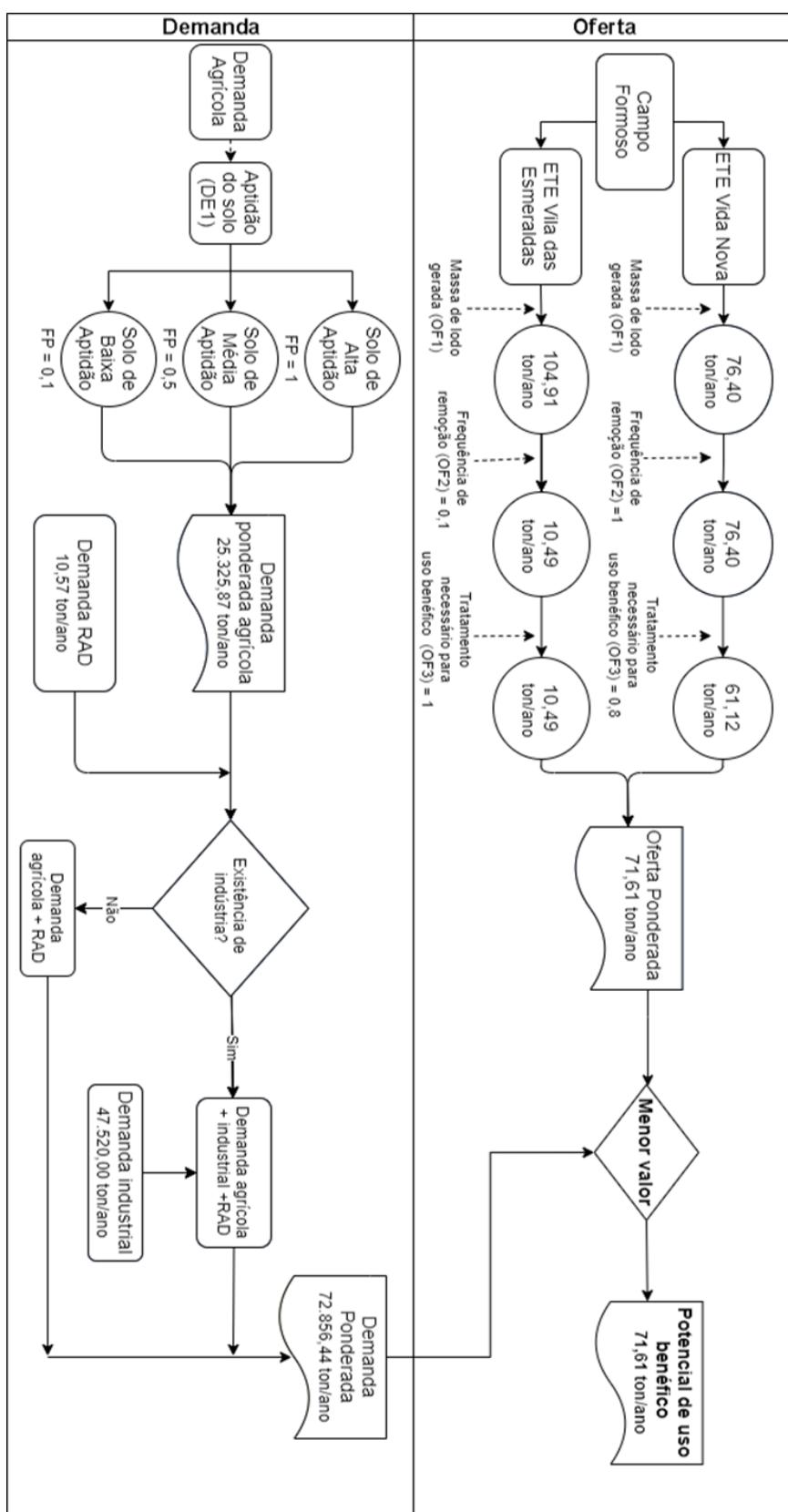


Figura 6: Exemplo de aplicação da metodologia no município de Campo Formoso.



A fim de proporcionar uma melhor visualização dos dados, foram elaborados mapas para a caracterização da oferta, da demanda e da avaliação das potencialidades do uso benéfico do lodo. Este último encontra-se representado na Figura 5.

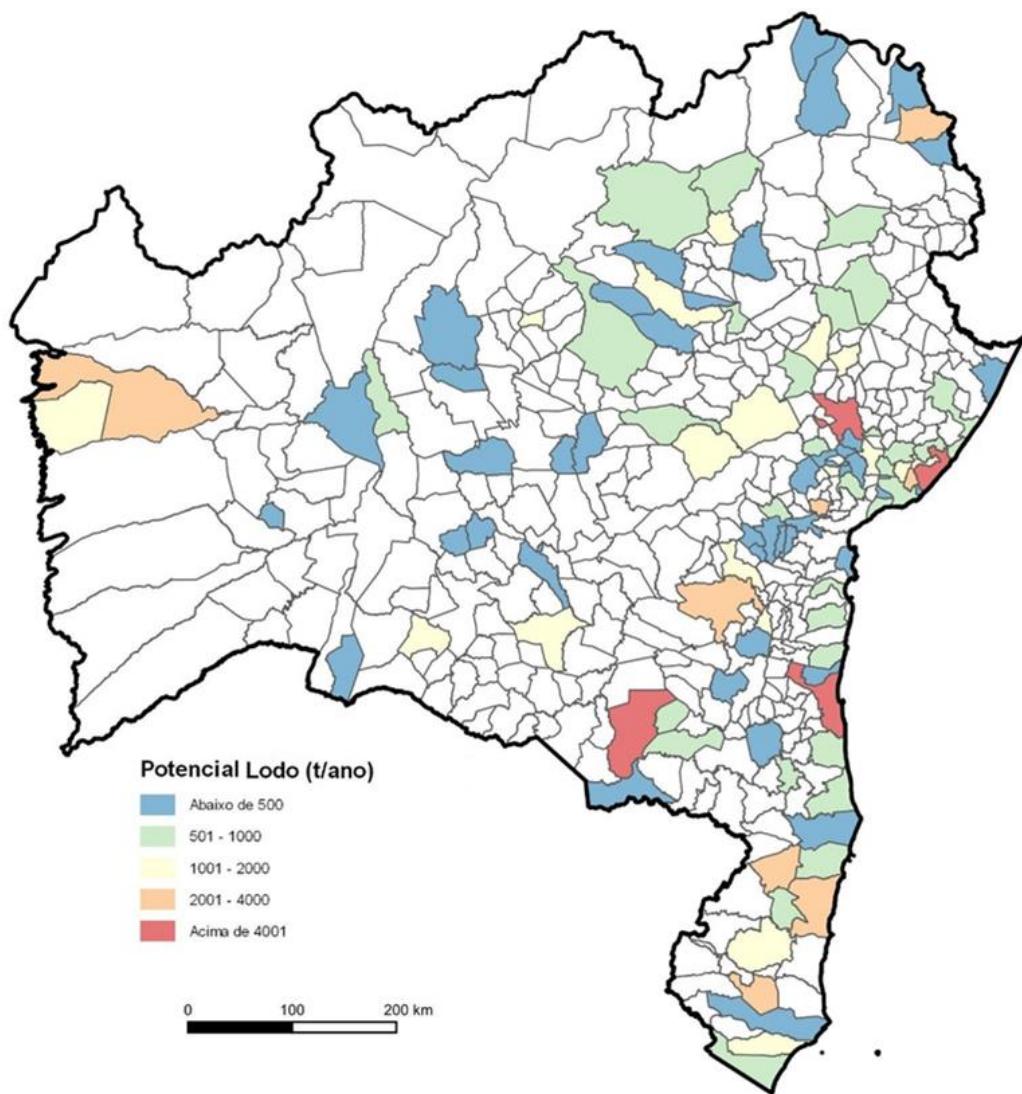


Figura 7: Potencial de aproveitamento de lodo nos municípios baianos.

Neste cenário, o potencial de aproveitamento de lodo para fins de uso benéfico supera 100 mil toneladas anuais, onde quatro municípios apresentam potencial de aproveitamento acima de 4 mil t/ano. O município de Vitória da Conquista apresenta o maior potencial (7.858 t/ano), seguido de Camaçari (6.706 t/ano), Feira de Santana (6.005 t/ano) e Ilhéus (4.175 t/ano).

A distribuição dos municípios segundo faixas de potenciais é apresentada na Tabela 1. Dentre os 107 municípios avaliados, 87% apresentam um potencial limitado pela oferta de lodo.

Tabela 6: Distribuição dos municípios por faixa de potencial

Potencial (t/ano)	(%)	Número de municípios
< 500	10 %	46
501 - 1000	20 %	31
1001 - 2000	24 %	18



2001 - 4000	23 %	8
4001 - 8000	23 %	4

Verifica-se uma vocação para utilização do lodo na agricultura em alguns municípios. Vitória da Conquista apresenta 85% de solos com aptidão muito alta, e Ilhéus apresenta 94% da sua área com solos cuja aptidão para aplicação de biossólidos varia de média a muito alta.

Como Feira de Santana apresenta uma oferta de lodo superior à demanda, ele pode atender à demanda industrial cimenteira de Campo Formoso de 88 mil toneladas anuais, uma vez que oferece apenas 6.543 t/ano de lodo. Esta integração pode permitir a gestão regionalizada destes resíduos, tal como preconizado na PNRS.

Com relação à demanda por lodo para recuperação de áreas degradadas, Camaçari (9.370 ton), Barreiras (22.412 ton) e Porto Seguro (2.591 ton) apresentam os maiores potenciais. Contudo, em todos esses municípios, o potencial é limitado pela oferta de lodo, o que gera uma oportunidade de aproveitamento de lodo nos municípios cujo potencial é limitado pela demanda.

Avaliando os principais resultados por ETE, Barreiras desonta com o maior potencial, apresentando um aproveitamento tanto para uso agrícola, quanto para recuperação de áreas degradadas (RAD). Outras ETEs que também apresentam a possibilidade de aproveitamento misto são: Luís Eduardo Magalhães (uso agrícola e RAD) e Vitória da Conquista (uso agrícola e industrial). Com relação ao aproveitamento energético do lodo, as ETEs que apresentam algum potencial são: Ponta de Nossa Senhora e Caraíbas Metais.

Cabe destacar que a ETE Jacuípe II recebe os lodos provenientes de 51 ETEs da unidade regional de Feira de Santana para a destinação na sua Fazenda de Lodos. Esta gestão pode contribuir para a viabilidade técnica e econômico-financeira de futuros projetos para uso benéfico do lodo devido ao ganho de escala.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Este trabalho é o resultado de uma iniciativa da Embasa para estruturar a atuação corporativa do aproveitamento de lodo de ETE em usos benéficos. O estudo realizado é parte integrante do contrato firmado, em maio de 2021, entre o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e o Consórcio Incibra, Innive, Nippon Koei Lac, no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/16/003, firmado entre a Embasa, o IICA e a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores.

O objetivo deste estudo foi estimar a quantidade de lodo que poderia ser aproveitada para usos benéficos em termos de toneladas por ano, de forma a determinar uma ordem de grandeza do potencial de aproveitamento na área de operação da Embasa. Para representação gráfica desse potencial, foram produzidos um banco de dados georreferenciados e mapas temáticos dinâmicos, servindo como ferramenta para tomadas de decisão.

A partir dos dados coletados, processados e analisados foi possível identificar e sistematizar a experiência da Embasa com o manejo do lodo. As ETEs estudadas possuem uma diversidade de configurações de sistema de tratamento da fase líquida, o que implica diretamente no tipo de lodo produzido, bem como diferentes frequências de remoção e tratamento da fase sólida.

Algumas conclusões podem ser realizadas referente à caracterização da oferta:

- 97% das ETEs são de pequeno porte, contudo representam 62% da produção de lodo. Essa dispersão da oferta apresenta uma possibilidade para a gestão descentralizada de lodo, o que gera uma oportunidade para suprir demandas dispersas em usos benéficos nas suas respectivas regiões.
- 70% do lodo produzido encontra-se em ETEs compostas por Reator UASB seguidos de Lagoas de Estabilização ou Lodos Ativados. Elas possuem frequência de remoção majoritariamente entre 2 e 6 meses, o que pode implicar na necessidade de armazenamento do lodo para regulação da oferta.
- 83% da massa de lodo gerada são de nível de tratamento secundário, provenientes de 150 ETEs que possuem pelo menos a desidratação como tratamento da fase sólida. Essa situação influencia em menores investimentos requeridos na implantação no tratamento da fase sólida.

Quanto à caracterização da demanda, identificou-se que 87% das oportunidades estão direcionadas para uso agrícola do lodo como biossólido. 43% da área de abrangência apresenta aptidão muito alta, 14% média aptidão e

43% baixa aptidão. As áreas de aptidão muito alta estão localizadas nas URs: Vitória da Conquista (84,6%), Camaçari (83,8%), Candeias (75,2%), Jequié (67,8%). Oras demandas identificadas foram o uso na indústria ceramista (6%), dispersas em toda a área de abrangência, e uso do lodo como bioassolado em áreas degradadas (5%) localizadas principalmente na Região Metropolitana de Salvador.

O potencial de aproveitamento do lodo na área de abrangência considerando uma cobertura de 90% de esgotamento sanitário na zona urbana dos 107 municípios atualmente atendidos por este serviço é de mais de 100 mil toneladas anuais. O potencial de demanda foi maior do que o potencial de oferta na maior parte dos municípios. Dessa forma, o potencial de aproveitamento em usos benéficos acompanhou o perfil delineado pela caracterização da demanda por lodo. Os municípios de Vitória da Conquista, Camaçari e Feira de Santana apresentaram o maior potencial, respectivamente em: aproveitamento agrícola, demanda industrial e recuperação de áreas degradadas.

Dentre os municípios avaliados, apenas sete apresentam uma oferta maior do que a demanda por lodo, o que permite concluir que o potencial do aproveitamento benéfico do lodo pode levar a benefícios relevantes ligados à expansão do sistema de coleta e tratamento de esgoto no estado da Bahia, visto o grande potencial de absorção do lodo nas demandas identificadas.

Além disso, este estudo subsidia o planejamento das ETEs a serem implantadas rumo à universalização, servindo de fator de orientação na tomada de decisões quanto ao tipo de tratamento a ser implantado e a localização das estações. Dessa forma, é de fundamental importância que se tenha o tratamento adequado da fase sólida das ETEs para ampliar as possibilidades de uso benéfico e otimizar os custos envolvidos na logística deste material.

Portanto, o estudo realizado serve como base para o entendimento do potencial de aproveitamento de lodo de ETE no Estado da Bahia, de forma a subsidiar a capacitação técnica e transparência no desenvolvimento de novos projetos, incluindo projetos-piloto no intuito de avançar no tema de forma planejada e pragmática. A busca por fontes de financiamento que disponibilizem recursos para este fim também é importante, a fim de viabilizar a implantação de novas experiências de aproveitamento de lodo no Estado da Bahia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.
2. BRASIL. Resolução CONAMA 498, 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bioassolados em solos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 de agosto de 2020.
3. BRASIL. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Série Histórica. Água e Esgotos. 2022. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>.
4. BRASIL. SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto / Probiogás; Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF. 2015.
5. CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 4ª Edição (revista e ampliada). 2018.
6. EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento. Estudo de Avaliação das Potencialidades de Reuso de Efluente Sanitário Tratado no Estado da Bahia. 2020.
7. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Indicação Técnica para a Produção de Cevada Cervejeira nas Safras 2017 e 2018. XXXI Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada, Passo Fundo-RS, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087382/1/ID442942017SP9IndicacoesCevada20172018.pdf>>.
8. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mandioca no Cerrado. Planaltina-DF, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1354377/1743416/Mandioca+no+Cerrado+orienta%C3%A7%C3%A7%C3%B5es+e%C3%A9t%C3%A9micas.pdf?2df4d240-b1b5-4107-84ed-12f85305ec67?version=1.0>>.
9. ETENE - ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE. Banco do Nordeste do Brasil. Informe Setorial Cerâmica Vermelha. 2010.
10. FIEB - Federação das Indústrias do Estado da Bahia. Guia Industrial do Estado da Bahia. 2020. Disponível em: <<https://www.fieb.org.br/guia-industrial/>>
11. INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. CEFIR - Cadastro Estadual Florestal de Imóveis Rurais. 2020. Disponível em: <<http://mapa.geobahia.ba.gov.br/>>.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



12. RICCI, M. dos S. F.; ARAÚJO, M. do C. F.; FRANCH, C. M. de C. Cultivo Orgânico do Café: Recomendações Técnicas. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília-DF, 2002.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. POTAPOS. 2000.