

VI-230 - POTENCIAL DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA PROVENIENTES DE REATORES ANAERÓBIOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO: PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS PARA O ESTADO DO PARANÁ

Marcos Espedito Carvalho ⁽¹⁾

Bacharelado em Sistemas de Informações da Sociedade Paranaense de Ensino e Informática. Mestre em Governança e Sustentabilidade pelo Instituto Superior de Administração e Economia (ISAE/FGV). Doutorando em Ciências Ambientais na Universidade Positivo.

Gustavo Rafael Collere Possetti ⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Engenheiro da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Endereço⁽¹⁾: Rua Acyr Guimarães, 98 – Água Verde - Curitiba - PR - CEP: 80240-230 - Brasil - Tel: +55 (41) 99179-1900 - e-mail: mespedito@hotmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Companhia de Saneamento do Paraná – Rebouças – Curitiba – PR – CEP: 82215-100 – Brasil – Tel: +55 (41) 3330-3375 – Fax: +55 (41) 3333-9952 – e-mail: gustavorcp@sanepar.com.br

RESUMO

O biogás, cujo principal componente é o metano, é um subproduto do processo do tratamento de esgoto que pode ser utilizado para fins energéticos. Apesar de estar alinhado com a promoção de uma economia de baixo carbono, o seu uso ainda é incipiente no Brasil. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi estudar alternativas para a minimização das emissões de gases do efeito estufa (GEE) associadas ao biogás proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETEs) dotadas de reatores anaeróbios no Estado do Paraná. Para tanto, inicialmente, a partir dos dados referentes ao ano de 2015, estimou-se que nessas ETEs são emitidos 4,15 MtCO₂eq.ano⁻¹ (0,71 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹). Essa caracterização definiu o cenário base. A partir daí, elaboraram-se sete cenários que simularam diferentes alternativas para o manejo do biogás, proporcionando a diminuição das taxas anuais de emissão de GEE. Esses cenários contemplaram o uso de queimadores de baixa e de alta eficiência para destruição de metano, bem como uso de motogeradores a biogás para produção de energia elétrica. Para cada cenário, calcularam-se as taxas de emissões absolutas, de reduções das emissões GEE em relação ao cenário base e a intensidade carbônica por habitante. Identificaram-se taxas de reduções das emissões de GEE variando entre 5,6 (a partir da instalação de queimadores com baixa eficiência) e 84,1% (baseado somente na instalação de queimadores com alta eficiência).

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento global, Biogás, Mudanças climáticas, Saneamento.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento pautado em uma economia de baixo carbono, que tem como objetivo reduzir as emissões de gases indutores do efeito estufa (GEE), ainda é um assunto incipiente e, portanto, carente de material científico. Apesar disso, nos últimos anos, cientistas vem alertando os governantes, empresários e representantes de nações sobre o aquecimento global. Estudos em diferentes regiões do planeta vêm constatando o aumento das temperaturas médias dos oceanos e das camadas de ar próxima à superfície da Terra, motivados pelo agravamento do efeito estufa proveniente da ação antrópica [1].

Para o Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima da (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU), o aquecimento global é inequívoco e causado pela ação antrópica [1]. Mudanças e eventos extremos do clima foram observadas desde o ano de 1950 e não possuem precedentes ao longo de outras décadas e até mesmo milênios. O crescimento populacional e econômico, observado desde a era pré-industrial, aumentou as

emissões de GEE de origem antropogênica, maximizando as concentrações de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) para níveis não observados nos últimos 800 mil anos. Desde meados do século 20, a influência humana é a principal responsável pelo aquecimento da atmosfera e de oceanos, aumento do nível médio global dos mares, redução das calotas polares e neves, diminuição de temperaturas frias extremas, aumento das temperaturas quentes extremas e aumento de precipitações fortes em algumas regiões do planeta. Assim, nas últimas décadas, as mudanças climáticas têm causado impactos naturais e com reflexos na humanidade em todos os continentes [1].

No ano de 2010, verificou-se que as emissões de GEE no Brasil atingiu 1.246.477 Gg equivalentes de dióxido de carbono (CO_2eq). Aproximadamente 4% dessas emissões foram oriundos das atividades de tratamento de esgoto e de destinação final dos resíduos sólidos urbanos, com uma expectativa de crescimento na ordem de 50% nas emissões de GEE nos próximos 20 anos decorrente da expansão no atendimento sanitário à população [2].

Diferentemente de outros setores da economia que já possuem metas estabelecidas para o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, o controle das emissões de GEE no setor de saneamento brasileiro ainda é incipiente e tipicamente negligenciado. Capturar e destruir o biogás proveniente do tratamento anaeróbico do esgoto é uma das formas de reduzir as emissões de GEE inerentes ao setor [3].

Com os investimentos realizados nas últimas décadas no setor de saneamento, o estado do Paraná encontra-se em uma situação privilegiada em relação aos demais estados da federação: entre os seus 399 municípios [4], 172 - que correspondem a 43% do total - são servidos por algum sistema de tratamento de esgoto, atendendo 65% da população urbana por meio de 238 ETEs [5]. Dentre essas ETEs, 219 produzem biogás por meio de reatores anaeróbios. As emissões decorrentes desses reatores anaeróbios representam normalmente 80% das emissões de GEE inventariadas no setor de tratamento de esgoto. Em 2015, 93,95% das emissões diretas de CH_4 e N_2O no tratamento de esgoto no Estado do Paraná foram oriundas do tratamento de efluentes [6].

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar alternativas para a minimização das emissões de GEE provenientes de reatores anaeróbios utilizados para o tratamento de esgoto doméstico da população urbana do estado do Paraná. Para tanto, a partir da condição de referência atual, avaliaram-se sete diferentes cenários de mitigação das emissões de GEE que contemplam desde a instalação de queimadores até o aproveitamento energético do biogás para fins de geração de energia elétrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo em questão é de natureza exploratória e quantitativa e foi desenvolvido a partir de dados coletados junto a prestadora pública de serviços de saneamento do Estado do Paraná. Para tanto, obtiveram-se dados referentes ao ano de 2015. O escopo do estudo contemplou 172 municípios que possuem tratamento de esgoto por meio do atendimento de 219 ETEs dotadas de reatores anaeróbios.

O presente estudo estimou a produção de biogás, bem como a sua composição, a partir do modelo proposto por Lobato [7]. Assim, estimaram-se as taxas anuais de produção de biogás, de CH_4 e de CO_2eq para cada uma das ETEs. Para essas estimativas utilizou-se o *software* ProBio, versão 1.0 [8]. Esse *software* foi utilizado, pois possibilita estimativas mais acuradas das taxas de produção de biogás para reatores USAB tratando esgoto doméstico [7-9] e, conseqüentemente, da quantidade de energia que pode ser recuperada nas ETEs.

A Tabela 2 apresenta as constantes utilizadas neste estudo como entrada de dados para cálculo de geração de biogás em uma situação conservadora [7-8].

Tabela 2: Constantes e Equivalências de Unidades Usados na Entrada de Dados

Parâmetro	Valor	Unidade
Contribuição de esgoto por habitante (QPC)	180	L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹
DQO afluente (C _{DQO-afluente})	500	mg.L ⁻¹
Concentração de SO ₄ no afluente (C _{SO4})	20	mg.L ⁻¹
Eficiência de remoção de DQO (E _{DQO})	60	%
Eficiência redução de SO ₄ (E _{SO4})	80	%
Coefficiente produção de lodo (Y)	0,15	kgSV.kgDQOrem ⁻¹
Coefficiente produção de DQO-lodo (K _{SÓLIDOS})	0,213	kgDQO-lodo.kgDQOrem ⁻¹
Temperatura operacional do reator (T)	25	°C
Fator de supersaturação de CH ₄ na fase líquida (F _s)	1,7	
Perda de CH ₄ na fase gasosa com o gás residual (P _w)	7,5	%
Outras perdas de CH ₄ na fase gasosa (P _o)	7,5	%

Para calcular a massa de CO₂ emitida no processo a partir da queima de metano em *flares*, primeiramente, calculou-se a produção de metano em cada ETE.

Conforme método do IPCC, o CO₂ presente no biogás foi desconsiderado por se tratar de origem biogênica [1]. Após, utilizou-se a Equação 1:

$$EmCO_{2-queima-CH_4} = (CH_{4-queimado} \cdot E_{equipamento} \cdot 2,44) + ((1 - E_{equipamento}) \cdot CH_{4-queimado} \cdot 28) \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

- $EmCO_{2-queima-CH_4}$ = emissões de CO₂ após a queima de CH₄ (tCO₂.ano⁻¹);
- $CH_{4-queimado}$ = CH₄ convertido em queimadores (tCO₂.ano⁻¹);
- $E_{equipamento}$ = eficiência de conversão do equipamento de transformação do CH₄. Para os queimadores de baixa eficiência, a taxa foi de 0,5. Para os queimadores de alta eficiência, a taxa foi de 0,995. Para os motogeradores de energia elétrica, a taxa foi de 0,8;
- 2,44 = constante resultante da relação de massa da transformação química de CH₄ em CO₂ a partir da queima completa de CH₄;
- 28 = GWP₁₀₀ do CH₄ [1].

Uma vez obtida a massa de CO₂ emitida no processo a partir da destruição de metano em queimadores ou motogeradores, as reduções de CO₂ foram calculadas a partir dos valores do Cenário Base, utilizando-se a Equação 2:

$$RedCO_2 = EmCO_{2-Cenário-base} - EmCO_{2-queima-CH_4} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

- $RedCO_2$ = reduções de CO₂ após a queima de CH₄ (tCO₂.ano⁻¹);
- $EmCO_{2-Cenário-base}$ = emissões de CO₂ do Cenário Base (tCO₂.ano⁻¹);
- $EmCO_{2-queima-CH_4}$ = emissões de CO₂ após a queima de CH₄ (tCO₂.ano⁻¹).

Além do cálculo das emissões e reduções de GEE, calculou-se a intensidade carbônica por habitante. Para isso, utilizou-se a Equação 3:

$$I_{CO_2hab} = EmCO_{2eq-TotCenário} / Pop_{TotCenário} \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

- I_{CO_2hab} = Intensidade carbônica por habitante (tCO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹)
- $EmCO_{2eq-TotCenário}$ = Total emissões de CO₂eq do Cenário (tCO₂eq.ano⁻¹);

- $Pop_{TotCenário}$ = População total do cenário (milhões de habitantes);

Após efetuar uma análise nas ETES do estado do Paraná, definiu-se a situação referente ao ano de 2015 como Cenário Base. A partir daí, optou-se pela criação de cenários que minimizassem as emissões de GEE, incluindo a possibilidade de geração energia elétrica. Assim, simularam-se 7 cenários, além do Cenário Base, de acordo com as seguintes premissas:

- **Cenário Base – Queima de biogás com baixa eficiência em 238 ETES:** Esse Cenário corresponde à situação das ETES do Estado do Paraná no ano de 2015.
- **Cenário I – Queima de biogás com baixa eficiência em todas as ETES:** Para esse Cenário, optou-se pela destruição do CH₄ a partir de queimadores de baixa eficiência com aproveitamento dos equipamentos já instalados.
- **Cenário II – Queima de biogás com alta eficiência em todas as ETES:** Nesse Cenário foi considerada a retirada de todos os queimadores de baixa eficiência existentes e a implementação de novos queimadores com alta eficiência em todas as ETES.
- **Cenário III – Geração de energia elétrica e queima de biogás com baixa eficiência em todas as ETES:** Nesse Cenário foi prevista a implementação de um motogerador em todas as estações, além de queimadores com baixa eficiência em cada uma das ETES para complementar todo o parque do escopo.
- **Cenário IV – Geração de energia elétrica e queima de biogás com alta eficiência em todas as ETES:** Para esse Cenário foi considerada a desativação de todos os queimadores de baixa eficiência existentes. Na nova configuração, admitiu-se a implementação de um conjunto de motogerador mais um queimador com alta eficiência em todas as ETES do escopo.
- **Cenário V – Geração de energia elétrica nas estações com resultado financeiro positivo na geração de energia elétrica e queima de biogás com baixa eficiência em todas as ETES:** Nesse Cenário foi prevista a implementação de um motogerador em cada uma das estações que apresentarem resultado positivo (viabilidade financeira) na geração de energia, mais queimadores com baixa eficiência em cada uma das ETES para complementar o parque do escopo.
- **Cenário VI – Geração de energia elétrica e queima com baixa eficiência nas estações com resultado financeiro positivo na geração de energia elétrica e queima de biogás com baixa eficiência nas demais ETES:** Para as estações que apresentarem resultado financeiro positivo na geração de energia, considerou-se a implementação de um motogerador e a complementação de queimadores de baixa eficiência onde não possui. Para as demais ETES, admitiu-se a desativação dos queimadores com baixa eficiência em operação e implementação de novos queimadores de alta eficiência.
- **Cenário VII – Geração de energia elétrica nas estações com resultado financeiro positivo na geração de energia elétrica e queima de biogás de alta eficiência em todas as ETES:** Para esse Cenário foi considerada a desativação de todos os flares de baixa eficiência existentes. Para atender os requisitos desse Cenário, é necessária a implementação de um motogerador em cada uma das estações que apresentarem resultado positivo na geração de energia elétrica, mais um *flare* de alta eficiência em todas as ETES do escopo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O potencial de emissão de GEE inerente ao Cenário Base foi de 4,15 Mt CO₂eq.ano⁻¹. O Cenário I apresentou como resultado uma emissão estimada de 3,92 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução estimada de 0,23 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem a 94,4% das emissões e 5,6% de redução em relação às emissões totais do Cenário Base. No Cenário II, a emissão estimada foi de 0,66 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução estimada de 3,49 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem a 15,9% das emissões e 84,1% de redução em relação às

emissões totais do Cenário Base. No Cenário III obtiveram-se como resultados a emissão estimada de 2,24 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução de emissões de GEE estimada de 1,91 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem, respectivamente a 54,0% das emissões e 46,0% de redução em relação às emissões de GEE do Cenário Base. O Cenário IV, por sua vez, teve como resultado a emissão estimada de 1,75 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução estimada de 2,40 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem a 42,2% das emissões e 57,8% de redução em relação às emissões do Cenário Base. O Cenário V apresentou como resultado a emissão estimada de 2,79 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução estimada de 1,36 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem a 67,2% das emissões e 32,8% de redução em relação às emissões do Cenário Base. Para o Cenário VI, estimou-se uma emissão de 1,79 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução estimada de 2,36 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem a 43,1% das emissões e 56,9% de redução em relação às emissões do Cenário Base. E, por fim, no Cenário VII foram obtidos como resultados a emissão estimada de GEE de 1,39 Mt CO₂eq.ano⁻¹ e uma redução estimada de 2,76 Mt CO₂eq.ano⁻¹, que correspondem a 33,4% das emissões e 66,6% de redução em relação às emissões do Cenário Base. A Figura 1 sumariza o comparativo entre as emissões totais do Cenários Base e os demais cenários.

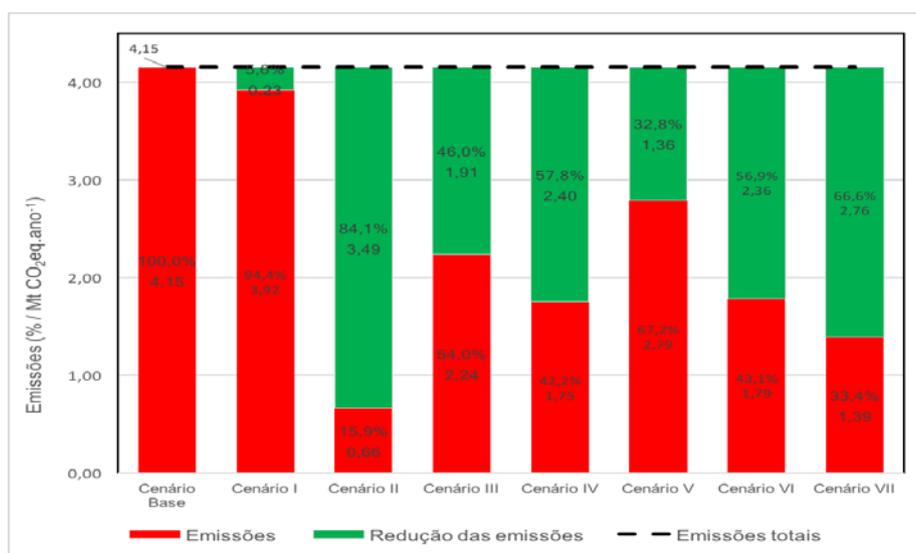


Figura 1: Estimativas das emissões anuais de GEE e suas respectivas reduções em relação ao Cenário Base para cada um dos cenários avaliados.

Assim como as emissões e reduções totais variaram em cada um dos cenários simulados, a intensidade carbônica por habitante apresentou a mesma variação proporcional. A partir do Cenário Base, que apresenta uma intensidade carbônica de 0,71 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹, bem acima dos 0,18 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹ referentes a média mundial em uma projeção com base nas emissões do tratamento de resíduos no estado do Paraná, todos os cenários apresentaram redução nas emissões por habitante. O Cenário I, que apresentou a menor interferência em relação ao Cenário Base, teve como resultado a menor variação e a maior emissão por habitante em relação aos demais cenários criados, ficando em 0,67 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹. Por outro lado, o Cenário II foi o que apresentou a maior redução na intensidade carbônica por habitante, tendo como resultado 0,11 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹, único abaixo da média mundial, decorrente da implementação de equipamentos com alto poder de destruição de GEE em todas as ETEs. Os Cenários III, IV, V, VI e VII resultaram em uma intensidade carbônica intermediária, que foi de 0,38, 0,30, 0,48, 0,30 e 0,24 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹, respectivamente. A Figura 2 sumariza a intensidade carbônica por habitante para todos os Cenários avaliados neste documento.

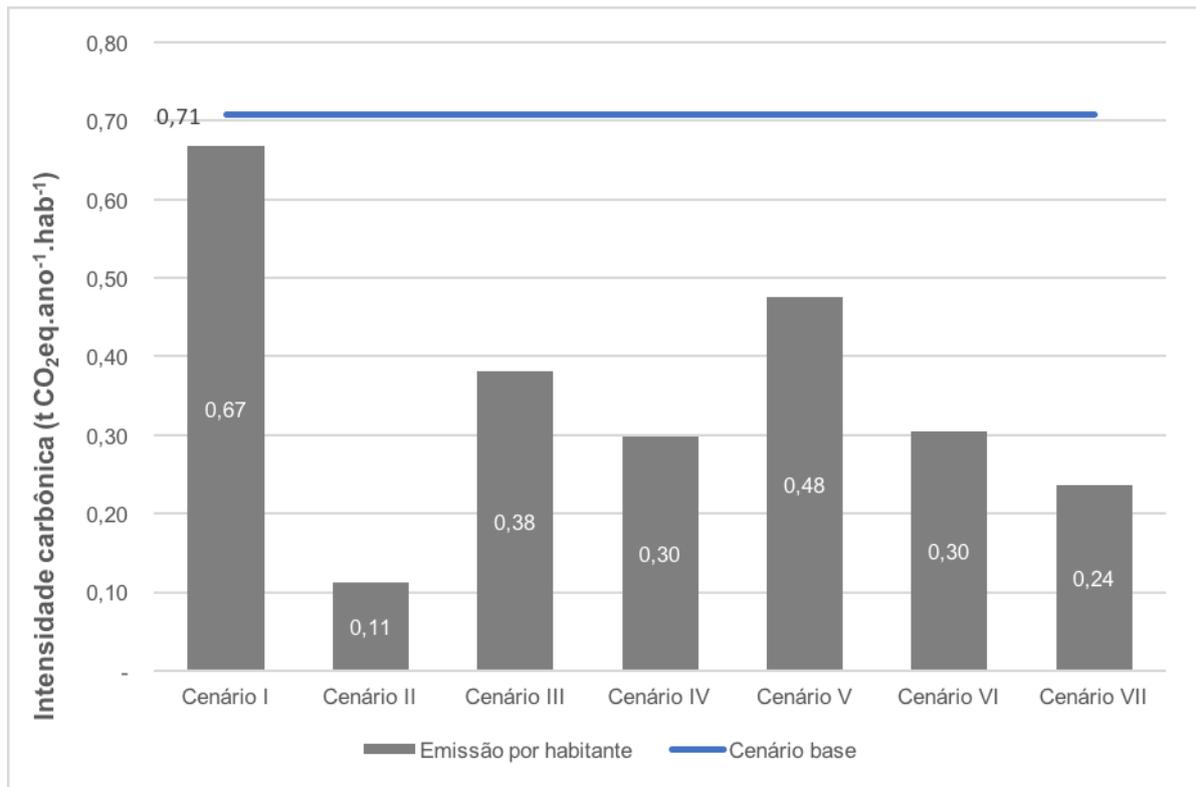


Figura 2: Intensidade carbônica por habitante para os cenários avaliados.

CONCLUSÕES

As emissões totais de GEE associados com o biogás gerado nas ETEs contempladas no escopo deste estudo foi de aproximadamente 4,15 Mt CO₂eq.ano⁻¹, sendo a intensidade carbônica por habitante igual a 0,71 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹ (Cenário Base).

A minimização dessas emissões a partir da instalação de queimadores com alta eficiência (Cenário II) apresentou o melhor resultado quando comparado com os demais Cenários simulados, proporcionando uma redução de 3,49 Mt CO₂eq.ano⁻¹ (0,11 t CO₂eq.ano⁻¹.hab⁻¹), ou seja, 84,1% de redução em relação ao Cenário Base.

Cabe destacar, porém, que embora o Cenário II tenha reduzido significativamente as emissões de GEE, suas premissas não possibilitam a geração de receita com energia elétrica como os demais 5 Cenários subsequentes, dificultando sua adoção.

Dando continuidade a esse estudo, recomenda-se a realização das análises financeiras de cada um dos cenários simulados, bem como a avaliação das viabilidades técnicas de implementação das soluções propostas para as ETEs investigadas.

Isso possibilitaria a definição de diretrizes voltadas para o controle eficiente das emissões de GEE inerentes ao tratamento de esgoto no Estado do Paraná, viabilizando a eventual mitigação de riscos regulatórios e penalidades, melhorando a qualidade dos serviços prestados, fortalecendo a imagem do prestador de serviços perante a sociedade e promovendo o desenvolvimento do setor em consonância com os requisitos de uma economia de baixo carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPCC, 2015. Climate Change 2014, Geneva: s.n.
2. Lupatini, G. et al., 2015. Avaliação do Potencial de Redução das Emissões de Gases do Efeito Estufa no Setor de Saneamento: Estudo de Caso na Região Norte do Paraná, Curitiba: ABES.
3. Meneses, A. et al., 2007. Application of the Celan Development Mechanism in the Sanitation Sector: "Proof of Concept". Clean Journal, 22 December, 36(9), pp. 788-797.
4. IBGE, 2010. Paraná - Pr. [Online] Available at: http://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=pr Acesso em 30/08/2015.
5. SANEPAR, 2015. SANEPAR EM NÚMEROS - SERVIÇOS - ESGOTO. [Online] Available at: <http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/servicos/esgoto> [Acesso em 30 Janeiro 2016].
6. SANEPAR, 2015. Inventário de Gases de Efeito Estufa, Paraná
7. Lobato, L. C. d. S., 2011. Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico, Belo Horizonte: Livia Cristina da Silva Lobato.
8. Possetti, G. R. C. et al., 2015. ProBio - Programa de estimativa de produção de biogás em reatores UASB, Curitiba: s.n.
9. Possetti, G. R. C. et al., 2013. Medições em Tempo Real do Biogás Produzido em Reatores UASB Alimentados com Esgoto Doméstico, Curitiba: ABES.