

III-134 – ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR NO MUNICÍPIO DE HORTOLÂNDIA PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Cátia Rodrigues de Almeida ⁽¹⁾

Pós-graduada em Sistemas de Gestão Integrados da Qualidade, Meio Ambiente, Segurança e Saúde no Trabalho e Responsabilidade Social; Graduanda de Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário SENAC; Graduada em Tecnologia em Gestão Ambiental Industrial.

Evandro Noro Fernandes ⁽²⁾

Graduado em Ciências Econômicas pela UFSM; Pós-graduado em Análise e Educação Ambiental - UFPR, Mestrado em Geografia Humana – FFLCH/USP. Professor no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Universitário SENAC

Endereço⁽¹⁾: Rua Boaventura Valério de Miranda, 290 – Jardim Bussocaba – Osasco - SP - CEP: 06056-430 - Brasil - Tel.: (11) 98308-6288 - e-mail: catia.gestaoambiental@gmail.com

RESUMO

A ocupação em determinados locais pode influenciar significativamente o ambiente, haja visto as ações antropogênicas realizadas para atender as necessidades de uso e ocupação de solo, bem como de saneamento básico à população. Neste sentido, a gestão e descarte adequado dos resíduos sólidos provenientes das atividades rotineiras é de fundamental importância, pressupondo que o aumento na geração dos resíduos está correlacionado ao crescimento populacional de uma determinada área e que sua destinação inadequada pode comprometer a saúde e qualidade de vida de todo o entorno. Além disso, há técnicas que extraem matéria prima de resíduos que prioritariamente seriam descartados, como no caso do biogás, que pode ser gerado por meio do processo de degradação de matéria orgânica. Para analisar a viabilidade técnica da implantação de biodigestor, foi realizado um estudo de caso em Hortolândia, desde a identificação e caracterização do município e os seus habitantes, bem como de seus resíduos sólidos, por meio de coletas empíricas de amostras. Como resultado, observou-se que há viabilidade na implantação de biodigestor para geração de biogás como energia alternativa às fontes tradicionais, que poderá contribuir para melhorias na vida da população, tais como: geração de emprego, minimização de descarte de matéria orgânica em aterros sanitários e possibilidades de melhorias no estabelecimento de políticas públicas integradas e participativas no município.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Geração de Renda, Energia alternativa.

INTRODUÇÃO

A preocupação com os problemas ambientais e, sobretudo com os recursos naturais finitos, tornou-se relevante para a sociedade nos últimos anos. Neste cenário, os resíduos sólidos constituíram-se em objetos de atenção diante de seu considerável aumento, em especial, nas grandes cidades. Em média, o brasileiro produz diariamente 1,062 quilo de resíduo sólido (IBGE, 2010). Somente em 2014, os resíduos sólidos representaram cerca de 78,6 milhões de toneladas, com aumento de cerca de 3% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2015).

A região sudeste, que se apresenta como a mais populosa do país concentrando mais de 50% do PIB, é também responsável pela geração de 50% dos resíduos sólidos. Representa a maior proporção de geração de resíduos em relação ao crescimento de população, quando comparada às demais regiões. A cidade de São Paulo, cuja população é de cerca de 12 milhões de habitantes (IBGE, 2010), há geração de aproximadamente 12 mil toneladas diárias de resíduos, sendo 75% de origem domiciliar, cujo descarte final é realizado em aterros e lixões, em sua maioria.

O aumento da geração de resíduos resulta do atual modelo de produção e consumo em massa, estimulado, em boa parte, pelo marketing e meios de comunicação. Esse consumo é também impulsionado por uma ideia

difundida sobre a necessidade de consumo, tornando-se um modo de vida, de maneira desenfreada. Esse contexto influencia a extração crescente de recursos naturais para suprir as demandas produtivas (BAUMAN, 2005). Esse modelo de consumo excessivo, que fragiliza o desenvolvimento a longo prazo, evidencia a necessidade de refletir sobre o processo de produção (IBGE, 2014).

A expansão urbana das áreas centralizadas para seu entorno pode favorecer a acessibilidade às diversas necessidades básicas, como transporte e saneamento. Entretanto, o acúmulo de habitantes em determinadas regiões pode influenciar significativamente as condições naturais de um local, em função das adaptações antropogênicas tanto em relação ao uso de solo quanto à disponibilização de saneamento básico à população, como tratamento e destinação de resíduos sólidos.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a relação entre a geração de matéria orgânica e suas características com as condições socioambientais da população do município de Hortolândia, de modo a indicar os melhores pontos de implantação de biodigestores na região, como alternativa à geração de biogás, podendo ser utilizada como mecanismo de desenvolvimento limpo. Consequentemente, a proposta visa promover a saúde, qualidade de vida, do meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico dos moradores, visto que prioriza a gestão compartilhada dos resíduos orgânicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa foi dividida de acordo com as seguintes etapas:

PRIMEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO DE DADOS SECUNDÁRIOS

Realização de pesquisas em dados secundários, sobre o uso do biodigestor como alternativa de geração de biogás, possibilidade de geração de renda, desenvolvimento local e inclusão como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

SEGUNDA ETAPA: DIAGNÓSTICO DOS SERVIÇOS DE LIMPEZA URBANA E MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO

Foi realizado um diagnóstico dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos do Município, considerando as etapas de acondicionamento, coleta, triagem, transbordo, transporte, tratamento e destinação final. Os dados foram obtidos por meio de grupos organizados e entidades representativas dos setores econômicos, sociais e organizações formais do município, em audiências públicas e reuniões, modelo que converge com a gestão compartilhada dos resíduos. Os indicadores foram tabulados e possibilitou a avaliação de eficiência e qualidade dos serviços da empresa terceirizada responsável pelos serviços de limpeza do município.

TERCEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO E SEUS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Para a caracterização dos resíduos domiciliares, foram realizadas coletas de amostras empiricamente em distintas regiões do município pertencentes às Regionais Administrativas – incluindo bairros, área central, bairros residenciais de produção operária, de classe média e média-alta, no período de 26/01 a 10/02/2015. Os locais de coleta foram definidos por meio da elaboração de um mapa principal, a partir da sobreposição do mapa de vulnerabilidade elaborado pela Fundação Seade e o da coleta com a divisão de setores elaborado pela empresa terceirizada e responsável pela coleta do município, contemplando, aproximadamente, 6% dos locais da produção de resíduos por cada grupo de vulnerabilidade

As coletas foram divididas por 11 setores diários, sendo seis no período matutino e cinco no período noturno, distribuídas em dois grupos, conforme abaixo:

- Grupo 1: segunda, quarta e sexta-feira;
- Grupo 2: terça, quinta e sábado.

As amostras foram acondicionadas em veículos com carroceira e transportadas até o galpão empresa terceirizada, responsável pela coleta dos resíduos domiciliares do município. Foram pesadas para obtenção de

seus pesos específicos, de acordo com as seguintes etapas: a) o material foi despejado sobre uma lona, triado e separado por categoria; b) foi realizada a quantificação. Com o peso dos diversos componentes, foram realizados cálculos de percentual e média geral ponderada de cada material.

Com o intuito de caracterizar a produção de resíduos e correlaciona-la às especificidades de cada região, foram considerados os dados do Índice de Vulnerabilidade Paulista. A composição gravimétrica dos resíduos domiciliares urbanos gerados, *per capita* e por grupo de vulnerabilidade, foi obtida por meio da equação 1, onde: g = geração nos pontos de coleta de amostragem; Y= média de geração/ponto de coleta; P = geração per capita; o somatório das médias de geração foi dividido por 14 (representando os dias de coleta das amostras); o valor resultante, foi dividido pela média de habitantes por residência, culminando na geração por indivíduo.

$$\bar{g}_{1,2,3 \dots n} = y, \frac{\sum y}{14} \cdot \bar{x} \text{ hab por residência} = P \quad \text{equação (1)}$$

Para a obtenção da geração *per capita* geral (G) do município, foi utilizada a equação 2, onde: P = geração per capita e R= representatividade (em %) de cada grupo dentro do município:

$$\sum P.R = G \quad \text{equação (2)}$$

Por fim, identificou-se a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos por região do município e sugeriu-se pontos de implantação de biodigestores para o tratamento dos resíduos classificados como matéria orgânica.

RESULTADOS OBTIDOS

CENÁRIO DOS RESÍDUOS E A UTILIZAÇÃO DO BIODIGESTOR COMO ALTERNATIVA À GERAÇÃO DE ENERGIA

Milhares de toneladas de resíduos são gerados no país e, grande parte, descartados de forma irregular. Somente no ano de 2014, a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos no país foi de, aproximadamente, 78,6 milhões de toneladas, representando 2,9% de aumento da geração de resíduos em comparação com 2013 (ALBREPE, 2014). Este aumento pode ser justificado com o crescimento populacional bem como o perfil de consumo, que implica em aumento de extração de matéria prima (BAUMAN, 2005).

Visando a relevância do assunto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), editada pela Lei nº 12.305 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 23 de agosto de 2010 foi aprovada, após anos de estudo. A lei estabelece a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas, e agentes envolvidos no processo produtivo e comercialização - corresponsáveis pela destinação dos rejeitos - bem como à sociedade em seu gerenciamento.

Destaca e consolida conceitos como: princípios da prevenção e precaução, poluidor-pagador, ecoeficiência, responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, reconhecimento do resíduo como bem econômico e de valor social, direito à informação e controle social, logística reversa, diferenciação entre resíduo e rejeito e classificação em função do grau de risco de contaminação. Reforça e estimula a redução, reutilização e reciclagem dos materiais de maneira participativa, o que inclui a tecnologia de biodigestores, que podem ser considerados como alternativa de tratamento à matéria orgânica e fonte de energia.

O biodigestor é constituído por uma câmara fechada, em que os materiais orgânicos são fermentados anaerobicamente, resultando em biogás. Os modelos mais conhecidos são o Indiano (com campânula funcionando como gasômetro, em que o gás é retido e pode ser direcionado para seu destino final) e o Chinês (com câmara cilíndrica para fermentação e teto em formato de abóbada, em que o gás é retido), exemplificados nas figuras 1 e 2, respectivamente.

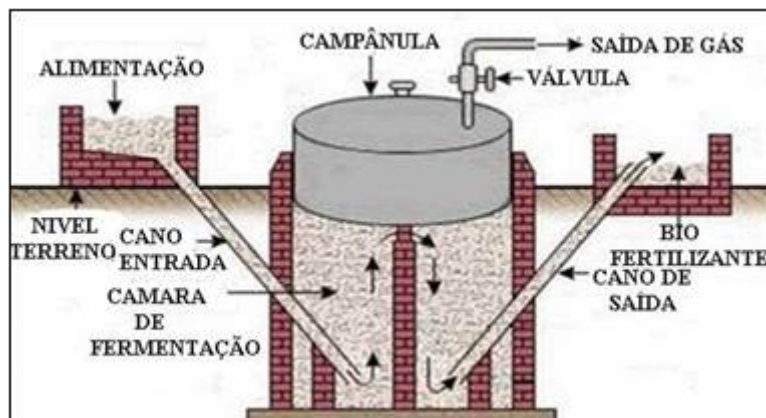


Figura 1 – Modelo indiano de biodigestor

Fonte: FURTADO et al., s/d

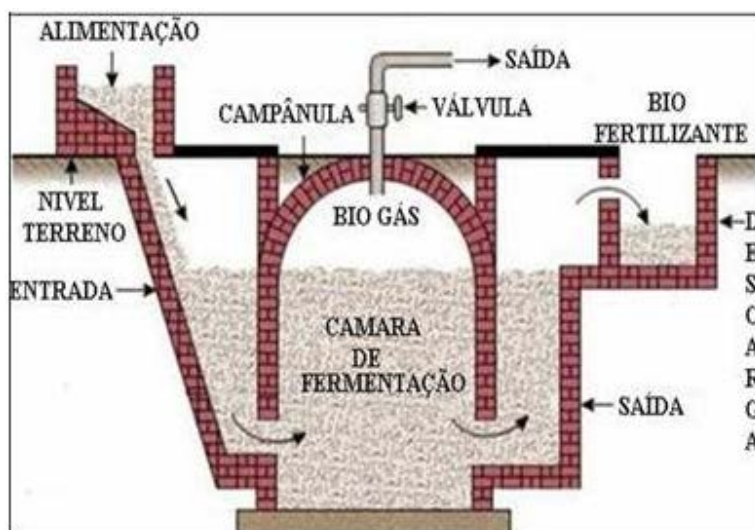


Figura 2 – Modelo chinês de biodigestor

Fonte: FURTADO et al., s/d

Os principais elementos utilizados como matéria prima para o biodigestor são: restos orgânicos, biomassa, excrementos (bovino, suíno, equino, etc.), folhagem e gramas, plantas como aguapé, baronesa, etc., sobras de rações, frutas, alimentos, cascas de cereais e esgotos residenciais (FURTADO et al., s/d).

Geralmente, a composição do biogás é de: 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de mistura de hidrogênio, nitrogênio, ácido sulfídrico, amônia, monóxido de carbono, oxigênio e aminas voláteis. Seu poder calorífico depende da quantidade de metano existente (PRATI, 2010). A tabela 1 apresenta um breve resumo desta composição:

Tabela 1 – Composição do Biogás

Gás	Símbolo	Concentração no biogás(%)
Metano	CH ₄	50-80
Dióxido de carbono	CO ₂	20-40
Hidrogênio	H ₂	1-3
Nitrogênio	N ₂	0,5-3
Gás Sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃	1-5

Fonte: COLDEBELLA, A. et al., 2006

A geração de biogás decorre, principalmente, do metano que, quando puro em condições normais (PTN), com pressão de 1 atm e 0° de temperatura, possui o poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. Para biogás com teor de metano entre 50 e 80%, o PCI será em torno de 4,95 e 7,92 kWh/m³ (Coldebella, A. *et al.*, 2006).

Ressalta-se que a eficiência na geração do biogás está correlacionada à sua composição inicial e da massa de matéria orgânica incluída no processo. Por ser um subproduto da biodigestão, a geração do biogás é de cerca de 4 a 7% do peso da matéria orgânica utilizada no processo (OLIVEIRA, 2009).

A produção do biogás é possível em função da atividade das bactérias que fermentam os materiais orgânicos, bem como o controle das etapas que ocorrem no interior dos biodigestores, portanto, trata-se de um processo controlado e permite eventuais ajustes operacionais para melhorias na produção do biogás, se necessário.

Na tabela 2 está relacionada a equivalência energética de 1 m³ de biogás em comparação à outras fontes de energia, de acordo com alguns autores:

Tabela 2 – Equivalência Energética entre o Biogás e outras Fontes Energéticas

Energético	Ferraz&Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene(L)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,80	-
Carvão M. (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,5	1,6
Eleticidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

Fonte: Coldebella, A. *et al.*, 2006

Além da produção de biogás, o biodigestor minimiza a quantidade de matéria orgânica que seria descartada, contribuindo para a vida útil dos aterros sanitários e pode ser considerado como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, haja vista sua geração energética limpa em substituição às fontes petrolíferas. Pode ser implantado em diversos locais, mediante estudo de viabilidade (TURDERA, 2016).

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO

O município de Hortolândia integra a Região Geográfica Sudeste, Unidade da Federação São Paulo, que se localiza a noroeste da capital (cuja distância é de aproximadamente 115 km). O município pertence a Região Metropolitana de Campinas, localizando-se nas coordenadas: 22° 52' 12,17" de latitude Sul e 47° 13' 05,55 de longitude Oeste, com a altitude média do seu território na faixa de 587m acima do nível do mar (figura 3).

O território oficial de Hortolândia é de 62,224 km². Em 2015 o IBGE estimou a população do município em 215.819 habitantes, constando uma densidade demográfica de 3.270,99 hab./km² e uma taxa de urbanização de 100%. Essas características fazem o município se destacar na rede urbana paulista, ocupando a 40ª posição no ranking de municípios mais populosos do estado e a 5ª na região Metropolitana de Campinas.

A logística de Hortolândia é privilegiada. O município é ligado a importantes rodovias como: Anhanguera, dos Bandeirantes e Dom Pedro I, além do Aeroporto de Viracopos em Campinas, há 14 km e da presença de importantes centros universitários na região, que contribuem para o desenvolvimento de Hortolândia. Com a emancipação recente, datada em 19 de maio de 1991, a cidade está atraindo grandes organizações industriais que fazem o Produto Interno Bruto (PIB) ser o quinto maior da Região Metropolitana de Campinas, o 27º maior do estado de São Paulo e o 89º de todo o país.



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM VERTICAL: IMBITUBA - S. CATARINA
 DATUM HORIZONTAL: SIRGAS 2000
 Fonte: adaptado de IBGE (1999).

Figura 3 – Localização do município de Hortolândia
 Fonte: Adaptado de IBGE (1999).

DADOS SOCIOECONÔMICOS

Com relação às tendências de perfil socioeconômico da população local, as evoluções de IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e PIB (Produto Interno Bruto), juntamente com senso demográfico de acordo com o IPVS (Índice Paulista de Vulnerabilidade Social), podem ser observados na tabela 3 e na figura 4, a seguir.

Tabela 3 –IDH: Comparação entre Hortolândia e o Estado de São Paulo

IDH	Hortolândia	São Paulo (UF)
1991	0,493	0,578
2000	0,636	0,702
2010	0,756	0,783

Fonte: Adaptado da Fundação SEADE.

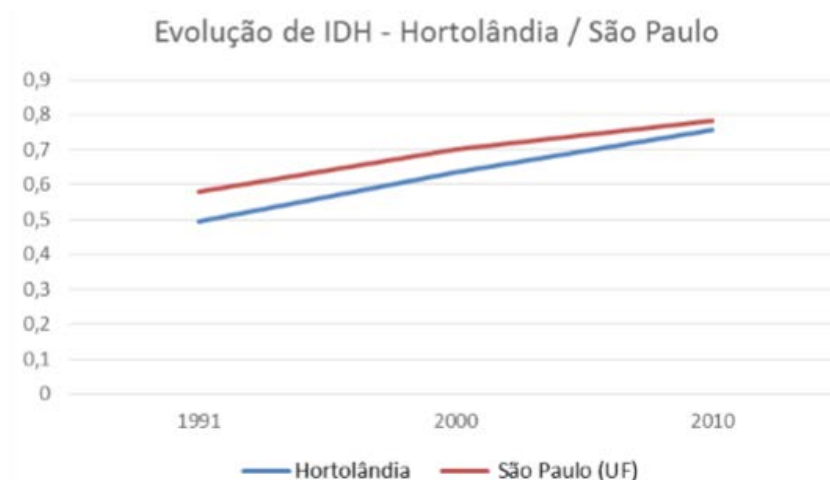


Figura 4 – Evolução de IDH: Comparação entre Hortolândia e o Estado de São Paulo

Fonte: Adaptado de PNUD.

A figura 5 abaixo apresenta informações gerais de cada um dos grupos de vulnerabilidade socioeconômica, conforme metodologia da Fundação Seade. Destaca-se que os dados se referem a 2010.

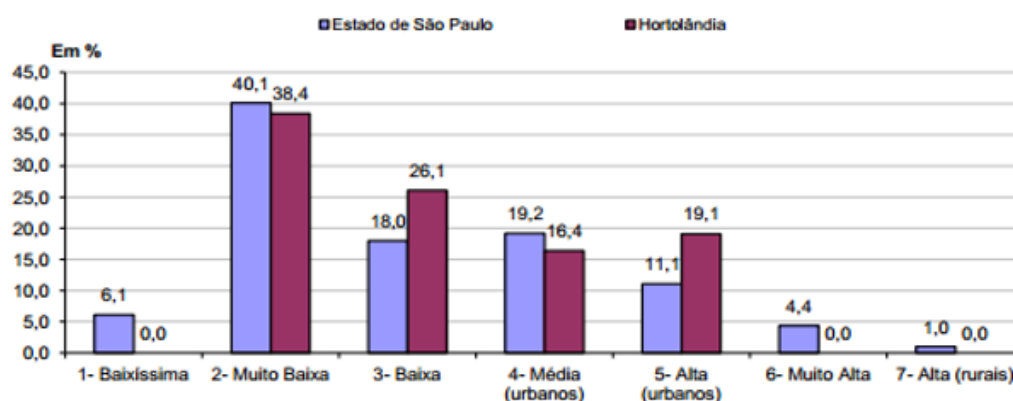


Figura 5 – Comparação do censo demográfico por grupo de vulnerabilidade entre Hortolândia e São Paulo

Fonte: Adaptado de IBGE, Censo Demográfico, Fundação SEADE.

Para este estudo, foram adaptadas as informações sobre vulnerabilidade social do Município, produzidas pela fundação SEADE, baseadas em dados censitários do IBGE de 2010 (tabela 4), e estabeleceu-se a divisão entre os grupos 2, 3, 4 e 5, de acordo com o resumo de caracterização abaixo:

Tabela 4 – Resumo sobre a vulnerabilidade social dos moradores de Hortolândia

Grupo	Vulnerabilidade	Total de pessoas	% em relação ao total	Rendimento médio dos domicílios	% de domicílios com rendimento inferior a meio salário mínimo per capita	Idade Média dos responsáveis pelo domicílio	% de moradores com menos de 30 anos	% de mulheres chefes de família com até 30 anos	% de crianças com menos de 6 anos
2	Muito baixa	71.259	38,4%	R\$ 2.280	11,0%	46	12,1%	10,7%	7,4%
3	Baixa	48.547	26,1%	R\$ 1.962	13,9%	42	20,0%	22,8%	8,9%
4	Média (setores urbanos)	30.506	16,4%	R\$ 1.604	20,8%	45	13,7%	10,0%	8,9%
5	Alta (setores urbanos)	35.394	19,1%	R\$ 1.426	27,9%	41	21,5%	23,1%	10,8%

Fonte: Autores

Para aprimorar a representatividade dos dados em relação à realidade, o dado censitário de 2010 foi projetado, considerando o crescimento populacional do município para 2014, culminando em um total de 212.527 habitantes. Para que não houvesse desvios em relação aos grupos de vulnerabilidade, foi atribuído o mesmo percentual para todos os grupos. O resultado da extrapolação é representado pela tabela 5, cujo grupo 2 apresenta o maior número de habitantes e o 4, o menor.

Tabela 5 – Extrapolação da população por grupo de vulnerabilidade

	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
População	81.558	55.547	34.905	40.517

A divisão por grupo de vulnerabilidade é importante para viabilizar a análise assertiva do local de implantação do biodigestor. Nesta análise é importante considerar como local central o de maior raio de abrangência em relação aos grupos cuja geração de matéria orgânica seja mais representativa, visando a minimização de gastos com logística para transporte destes resíduos.

Além disso, a avaliação do local de implantação de técnicas como biodigestor é fundamental para evidenciar eventuais aspectos e impactos que serão inerentes à atividade, tais como a necessidade de promover esclarecimentos à população, possibilidade de geração de renda e desenvolvimento local, dentre outros.

RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO

Hortolândia integra o Consórcio Intermunicipal de Manejo de Resíduos Sólidos da região metropolitana de Campinas, composto por oito municípios: Hortolândia, Sumaré, Americana, Nova Odessa, Santa Bárbara, Elias Fausto, Capivari e Monte Mor. Em 2010 foi elaborado o Plano Integrado de Gerenciamento Resíduos Sólidos, adequado pela equipe técnica, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010).

Os custos operacionais destinados ao transporte e descarte dos resíduos domiciliares de Hortolândia correspondem a aproximadamente, 10% do total da arrecadação do município. De acordo com as médias apresentadas em 2015 pela Secretaria de Serviços Urbanos, o custo mensal para transporte e destinação final dos resíduos domiciliares, por tonelada, representam R\$ 1.633,85 e R\$ 4.445,61, respectivamente.

A coleta de lixo domiciliar é realizada por empresa terceirizada contratada pelo município. Há divisão entre cinco regionais, com uma média de 22,2 bairros em cada. Na prática, a atividade é dividida entre setores de acordo com rotas estabelecidas por proximidade, em coletas diurnas e noturnas, de segunda a sábado. Há Pontos de Entrega Voluntária (PEV's) que dispõe de dois caminhões exclusivos que coletam o material e encaminham à cooperativa.

Os resíduos coletados que não são atendidos pelas unidades de transbordo de Hortolândia, cerca de 50.796 toneladas/ano, são destinados e dispostos em um aterro sanitário licenciado e localizado no município de Paulínia. Os resíduos de saúde também são coletados pela mesma empresa, gerando 240 toneladas/ano, destinadas para empresa licenciada em Mogi Mirim.

Além disso, há uma cooperativa que atende ao processamento de 33 toneladas/mês, quantidade que tende a aumentar em função do funcionamento de todos os PEV's que estão em fase de implantação. A cooperativa tem capacidade de atender 11 bairros em sua totalidade e 5 bairros parcialmente, atualmente.

Para integrar as informações em relação os grupos de vulnerabilidade do município, sua distribuição espacial e os setores de coleta, foi gerado um mapa no *ArcGis* (Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), *Datum* horizontal SIRGAS 2000 e *Datum* vertical Imbituba Santa Catarina), incluindo os setores amostrados (ou seja, em que foram coletadas as amostras de resíduo domiciliar para este estudo), representada pela figura 6.

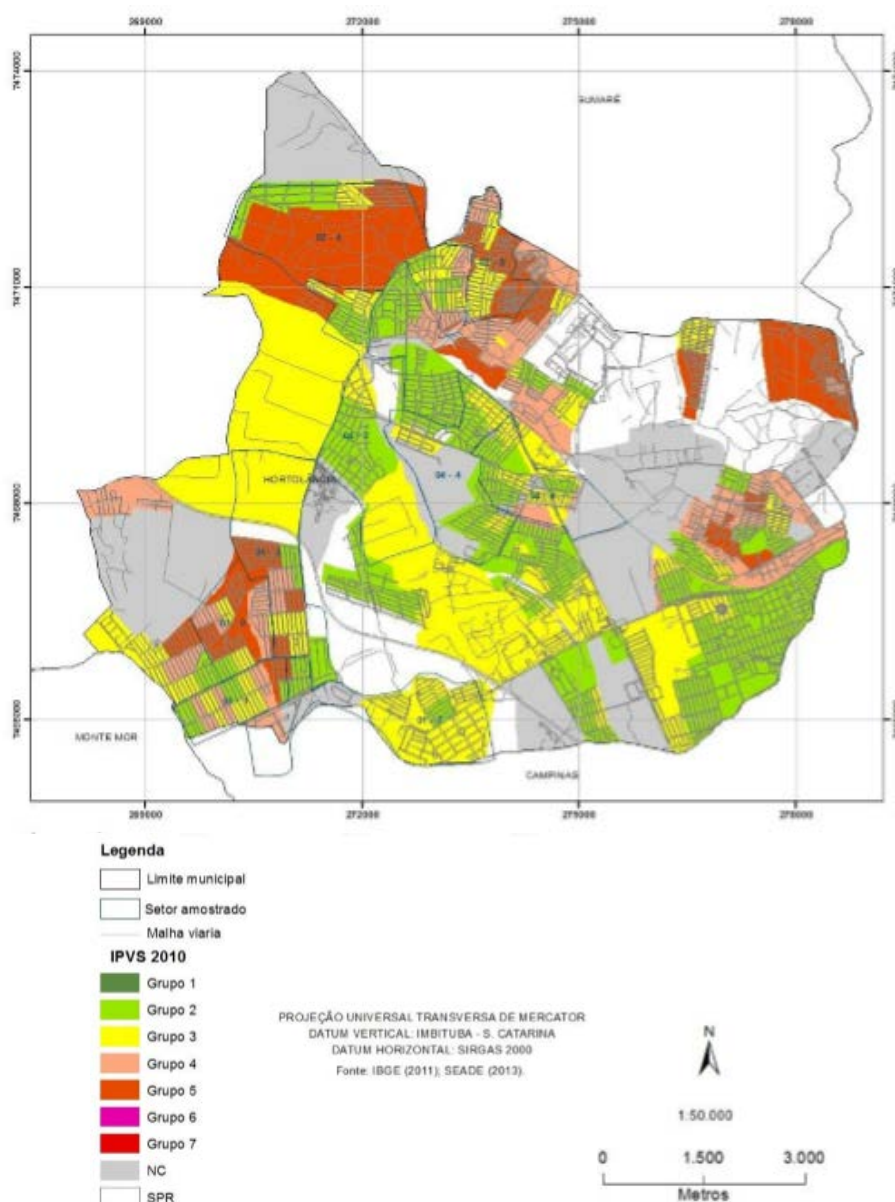


Figura 6 – Índice paulista de vulnerabilidade social e pontos de coleta de amostras em Hortolândia
Fonte: Autores

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO

A composição gravimétrica foi obtida a partir da coleta de aproximadamente 6% de amostras de resíduos domiciliares por grupo de vulnerabilidade de 2 a 5, de acordo com os dados da Fundação Seade, como segue:

- 1386 amostras para o grupo de vulnerabilidade 2;
- 871 para o grupo 3;
- 595 para o grupo 4;
- 676 para o grupo 5.

O grupo 2, de vulnerabilidade muito baixa, teve o maior número de amostras coletadas e segregadas, pois detém 38,4% da população de Hortolândia. Já o grupo 4, de vulnerabilidade média, representa cerca de 16,4 % da população e assim foi o grupo que foi coletado o menor número de amostras.

A tabela 6 apresenta a relação de material segregado em cada um dos grupos de vulnerabilidade, em kg, o número de amostras coletas e a média de habitantes nas residências:

Tabela 6 – Produção de Resíduos nas Áreas de Amostragem

PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM				
	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Amostragem (≈ 6%)	5433,5 kg	3599,5 kg	2751 kg	3005 kg
Residências coletadas	1386	871	595	676
Média de pessoas/residência	3,3	3,3	3,5	3,6
Média de resíduos/residência	3,9 kg	4,1 kg	4,6 kg	4,4 kg
Produção de resíduos per capita	0,701	0,752069	0,6966	0,643

Fonte: Autores

Observa-se que a média de pessoas por residência no grupo de vulnerabilidade 5 é a maior e a geração de resíduos domiciliares mais significativa refere-se ao grupo de vulnerabilidade 2.

A triagem e pesagem do material seguiu a seguinte classificação para os resíduos: material orgânico (M.O), plástico, papel, vidro, metal, isopor, fármacos, tecidos e outros (neste grupo, foram considerados os materiais em menores quantidades). A tabela 7 apresenta as quantidades de resíduos segregados em cada um dos grupos e as respectivas classificações por tipo de resíduo encontrado nas amostras (pesagens relativas, em Kg):

Tabela 7 – Quantidade de Resíduo Segregado por Grupo de Vulnerabilidade

GRAVIMETRIA / VULNERABILIDADE				
Parcela em kg	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta
M.O.	3488,79	2436,17	1659,81	1731,03
Rejeito	601,71	278,83	459,19	399,47
Plástico	446,50	238,00	162,00	250,00
Papel	473,00	309,50	194,00	269,00
Vidro	86,00	66,50	30,00	58,50
Metal	53,50	23,50	18,50	35,00
Isopor	22,00	13,50	15,50	9,00
Fármacos	5,00	9,50	5,50	6,00
Tecidos	155,00	143,00	100,00	131,50
Outros**	102,00	81,00	106,00	115,50
Total	5433,50	3599,50	2750,50	3005,00

Fonte: Autores

De acordo com os dados, é possível observar que a maioria dos resíduos domésticos produzidos pode ser classificado como material orgânico, independentemente do grupo de vulnerabilidade, representando cerca de 9.300 kg. Já os materiais recicláveis, encontram-se em menores proporções.

Após a segregação dos resíduos, foram calculados os percentuais de cada tipo de resíduos segregados em relação à massa total coletada (tabela 8). Destaca-se a relevante diferença na geração de matéria orgânica no grupo 5, inferior aos percentuais obtidos nos demais grupos:

Tabela 8 – Percentual de Resíduo Segregado por Grupo de Vulnerabilidade

GRAVIMETRIA / VULNERABILIDADE				
Parcela em %	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta
M.O.	64,21	67,68	60,35	57,61
Rejeito	11,07	7,75	16,69	13,29
Plástico	8,22	6,61	5,89	8,32
Papel	8,71	8,60	7,05	8,95
Vidro	1,58	1,85	1,09	1,95
Metal	0,98	0,65	0,67	1,16
Isopor	0,40	0,38	0,56	0,30
Fármacos	0,09	0,26	0,20	0,20
Tecidos	2,85	3,97	3,64	4,38
Outros**	1,88	2,25	3,85	3,84
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autores

A média de resíduos produzidos para cada um dos grupos varia de 3,9 kg por residência (sendo o menor percentual no grupo 2, que representa 38,40% do total de residências do município), à 4,6 kg (no grupo 4, que representa 16,40 % das residências totais). A produção de resíduo por grama, *per capita*/dia nos grupos 2, 3 e 5 é de 701 e 752 e 643, respectivamente. Extrapolando esses dados para a população total do município e considerando que a produção de resíduo domiciliar per capita seja de 703 gramas, pode-se projetar a geração de resíduos de médio a longo prazo, de acordo com as tabelas 9 e a figura 7, respectivamente:

Tabela 9 – Projeção de Produção de Resíduos no Município de Hortolândia:

			PRODUÇÃO DE RESÍDUOS TOTAL (T/MÊS)								
Ano	População	Geração de resíduo (t/mês)	M.O.	Plástico	Papel	Vidro	Metal	Isopor	Fármacos	Tecidos	Outros**
2015	203706	4500	3360	327	375	68	37	17	8	156	121
2024	285619	6310	4711	458	525	96	52	24	11	219	170
2034	383847	8479	6331	616	706	129	70	32	15	294	229

De acordo com as extrapolações, o material orgânico residencial representará 75% de todo o material gerado no município. Este indicador é fundamental para prospecção do uso de biodigestor para geração de biogás para a região.

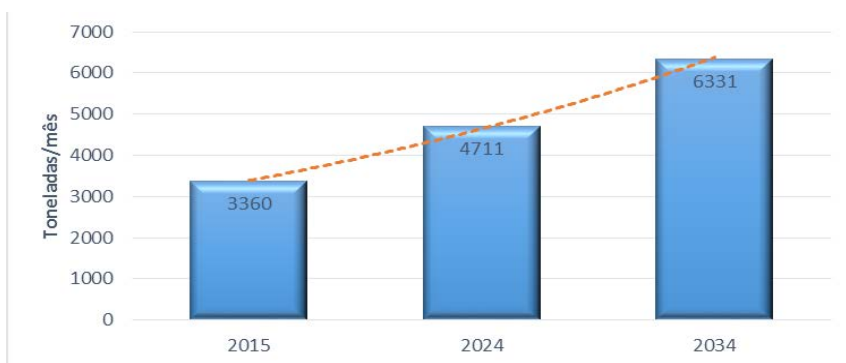


Figura 7 – Representação gráfica da projeção de produção de resíduos no município de Hortolândia

O gráfico acima apresenta a tendência de crescimento de geração de matéria orgânica em Hortolândia, exponencialmente. De acordo com os dados obtidos, a geração em 2034 será de, aproximadamente, 88% superior à geração de 2015. Ressalta-se que os dados referentes a geração de material orgânico são fundamentais para validar a possibilidade de implantação de biodigestor na região.

A figura 8 apresenta, graficamente, a capacidade de geração de biogás - adotada da literatura de no mínimo 4% e de no máximo 7% (dado adotado da literatura), da quantidade de matéria orgânica gerada – comparada à quantidade projetada de geração de matéria orgânica do município. Observa-se que há prospecção em relação a produção de matéria orgânica, matéria prima para a produção do biogás no município.

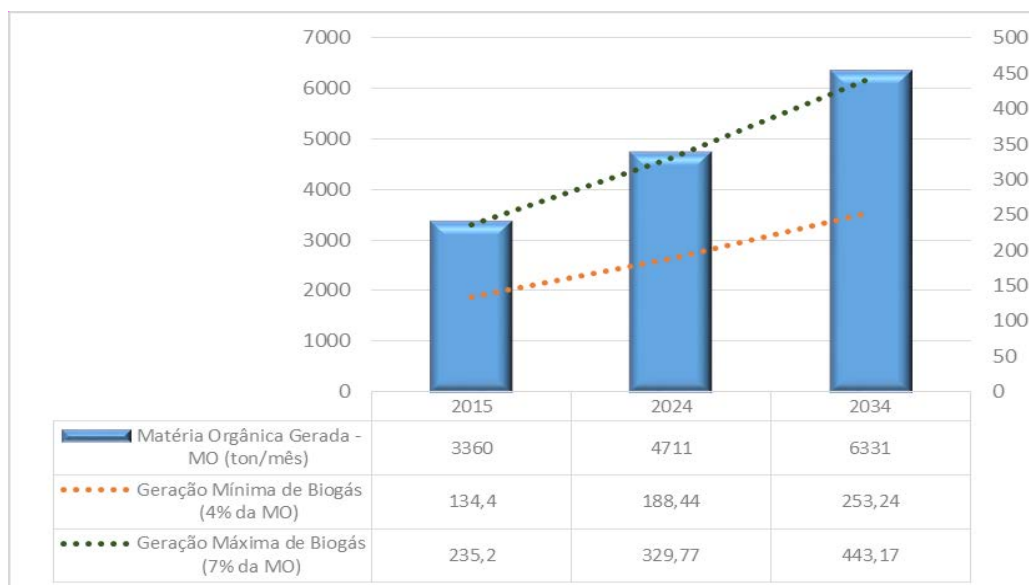


Figura 8 – Representação gráfica da projeção de produção de resíduos no município de Hortolândia em relação a quantidade de biogás gerada

VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM HORTOLÂNDIA

Com base nos dados empíricos obtidos e na revisão bibliográfica realizada, há viabilidade de implantação de biodigestor em Hortolândia, visto que dentre as diversas fontes de energia, utiliza os resíduos orgânico devido seu grande potencial de geração de metano e vazão de biogás em função dos nutrientes dos microrganismos presentes: carbono, nitrogênio e sais orgânicos.

A implantação deste equipamento deverá estar alinhada às necessidades da região e, preferencialmente, próxima às classes que mais geram resíduo orgânico, visando a minimização de custos com a logística desses materiais. Desta forma, destaca-se na figura 9 os possíveis pontos de implantação, considerando a produtividade dos materiais orgânicos da região:

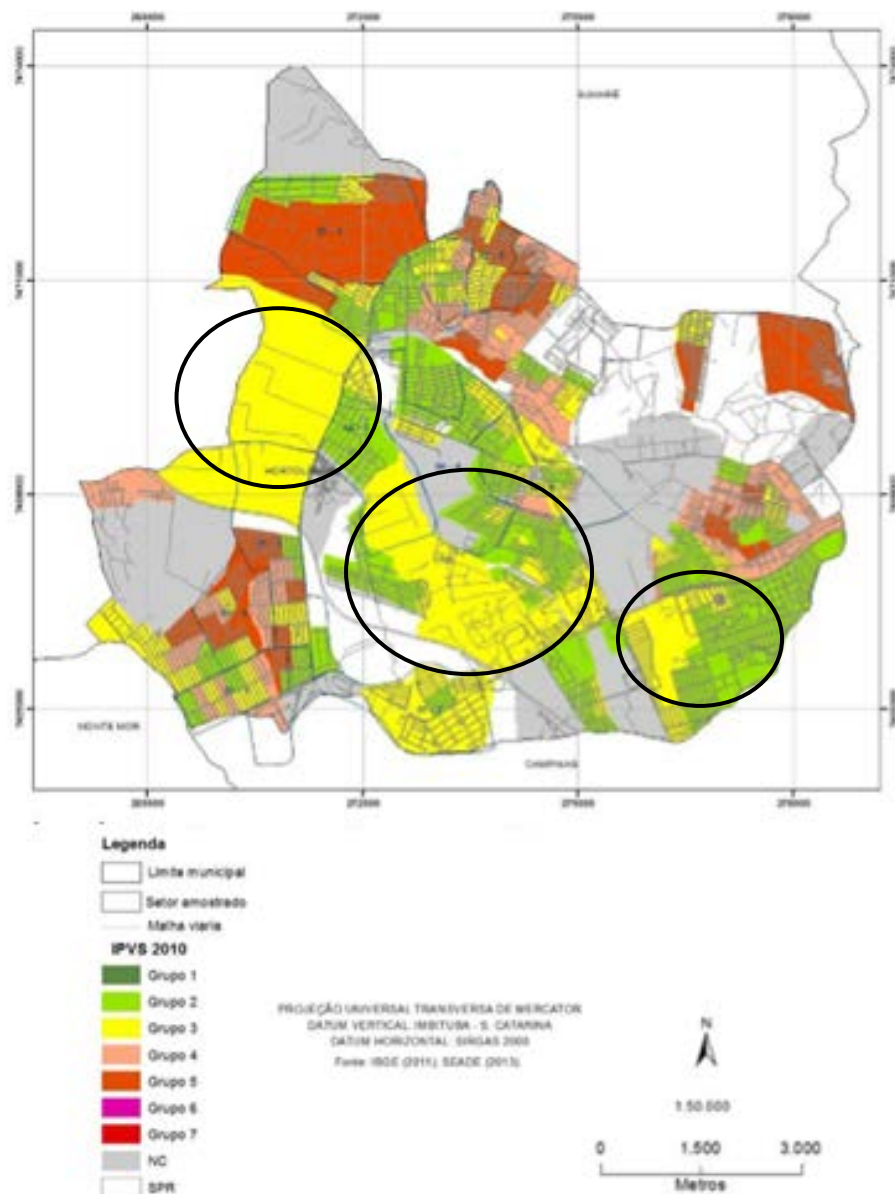


Figura 9 – Possíveis pontos de implantação de biodigestores no município de Hortolândia

Fonte: Autores

Para a sugestão dos pontos de coleta demarcados com circunferências em cor preta, foi considerada, basicamente, a concentração de habitantes pertencentes os grupos 2 e 3, que geram maior quantidade de matéria orgânica, de acordo com os dados empíricos analisados. Sugere-se que, no caso de implantação do biodigestor no município, a análise considere outros fatores igualmente relevantes para a tomada de decisão assertiva, como por exemplo, as especificidades dos pontos de coleta, a legislação pertinente à operação de fontes alternativas de energia, a análise dos possíveis impactos decorrentes da instalação e operação do biodigestor, dentre outros.

Com respaldo técnico e jurídico, o projeto possivelmente promoverá o desenvolvimento local, com geração de renda, minimização da dependência e uso de fontes energéticas convencionais, melhorias nas condições ambientais locais, redução do volume de matéria orgânica destinada aos aterros sanitários e,

consequentemente, aumento de sua vida útil. Além disso, se documentado de forma que atendas às exigências legais, poderá ser submetido como projeto de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, possibilitando subsídios para concepção e instalação do projeto.

CONCLUSÃO

A dependência de fontes energéticas não renováveis carece de substituições, visando a utilização de técnicas que minimize os impactos ambientais e contribuam para o desenvolvimento local, tanto econômico quanto socialmente.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo de caso, conclui-se que há viabilidade técnica para a implantação de biodigestor para tratamento do material orgânico de Hortolândia. A implantação do biodigestor poderá contribuir para a melhoria e desenvolvimento local em diversos aspectos, entre eles, estimulará o gerenciamento integrado do resíduo domiciliar e convergirá com as recomendações legais da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Além disso, poderá favorecer a capacitação e geração de emprego aos moradores do local, incluindo melhorias ambientais com a substituição do uso de energia proveniente de fontes convencionais. Há possibilidades de fortalecimento das ações sustentáveis e imagem do município, por meio do uso de seu projeto piloto como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Outro aspecto relevante na implantação do projeto é a minimização da quantidade de resíduos encaminhados aos aterros da região, que pode ser compreendido tanto como ganho ambiental, haja vista a maximização da vida útil do aterro, que receberá uma quantidade reduzida de resíduos bem como possibilidade de capacitação e geração de renda aos moradores do entorno.

No caso de implantação dos biodigestores nas proximidades dos grupos de vulnerabilidade 2 e 3, o projeto culminará em uma logística assertiva, devido ao significativo foco de geração de resíduos e minimização do manuseio dos materiais orgânicos para outros locais de tratamento.

Vale ressaltar que este trabalho tratou de analisar a viabilidade técnica da implantação de um biodigestor no município de Hortolândia, o que não invalida futuros trabalhos de pesquisa com enfoque na viabilidade ambiental e econômica, ampliando a discussão da possibilidade de implantação do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBREPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2014. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>
2. BAUMAN, Z. Vida Líquida. Rio de Janeiro: Zahar, 2005. 207p.
3. BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm> Acesso em 24 de novembro de 2015.
4. BRASIL. LEI Nº 12.300, de 28 de julho de 2010. Altera o plano de carreira dos servidores do senado federal, instituído pelas resoluções do senado federal n.º 42 e 51, de 1993, e unificado pela Resolução do Senado Federal nº 7, de 2002, convalidada pela lei nº 10.863, de 29 de abril de 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12300.htm> Acesso em 08 de novembro de 2013.
5. COLDEBELLA, Anderson, SOUZA, Samuel Nelson Melegari de, SOUZA, Juliano de *et al.* Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. em: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Disponível em:

- <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn> Acesso em 08 de novembro de 2013.
6. FURTADO, Gil Dutra *et al.* BIODIGESTOR: EXPLICAÇÕES DIDÁTICO METODOLÓGICAS AO ALCANCE DA ESCOLA COMO PÚBLICO ALVO. s/d. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/pf.php?idartigo=2237>>. Acesso em: 27 dez. 2015.
 7. SANEAMENTO BÁSICO DE HORTOLÂNDIA. Disponível em: <<http://www.saneamentobasico.com.br/portal/index.php/tag/hortolandia/>> Acesso em 15 de setembro de 2014.
 8. SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Sistema Seade de Projeções Populacionais. Disponível em: < <https://www.seade.gov.br/>> Acesso em 10 de setembro de 2014.
 9. SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Sistema de informações dos Municípios Paulistas. Disponível em: < <https://www.seade.gov.br/>> Acesso em 10 de setembro de 2014.
 10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. População estimada de 2010. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br> > Acesso em 10 de setembro de 2014.
 11. PREFEITURA MUNICIPAL DE HORTOLÂNDIA. Disponível em: <http://www2.hortolandia.sp.gov.br/> Acesso em 15 de setembro de 2013.
 12. TURDERA, Mirko V. and YURA, Danilo. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6. 2006, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100062&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 07 Jan. 2016.
 13. PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Atlas de Desenvolvimento Humano 2003. Disponível em: http://www.pnud.org.br/IDH/Default.aspx?indiceAccordion=1&li=li_AtlasMunicipios/ Acesso em 15 de setembro de 2013.
 14. PRATI, Lisandro. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO POR BIODIGESTORES. 2010. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148>>. Acesso em: 20 dez. 2015.
 15. OLIVEIRA, Rafael Deléo e. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PRODUZIDO PELA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS EM ABATEDOURO E AS POSSIBILIDADES NO MERCADO DE CARBONO. 2009. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-26042010-091847/?&lang=br>>. Acesso em: 20 dez. 2015.