

Aplicação de Tecnologia de Tratamento de Resíduos Sólidos para Geração de Energia Elétrica em Sistemas Isolados na Amazônia: Estudo de Caso em Município na Ilha do Marajó, PA

B. C. Brasileiro, PPGEE, R. M. Kühl, PPGEE, P. C. R. Neto, PPGEE, N. P. Souza, PPGEE, R. N. Muniz, PPGEE J. A. S. Sá, PPGCA, B. R. P. da Rocha, CENSIPAM/PPGEE

Resumo— O fornecimento de energia elétrica em São Sebastião da Boa Vista, localizada na Ilha de Marajó, é feito via sistema isolado composto por seis geradores movidos a óleo diesel, com capacidade nominal total equivalente a 2.566 kWe. Uma tecnologia alternativa proposta, de acordo com a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, seria o tratamento de resíduos municipais, orgânicos e hospitalares com umidade de até 85%, através da implementação de uma usina de pirólise lenta a tambor rotativo, úmida e catalisada, gerando gás de síntese, biocarvão e cinzas inertes. A usina de aproveitamento energético de resíduos tem como objetivo principal viabilizar o descarte correto dos resíduos sólidos urbanos, simplificando a gestão sanitária e promovendo a desativação do lixão, além de gerar energia renovável. Assim, este tratamento pode tornar-se uma alternativa aos aterros sanitários, inviáveis para a região do Marajó devido ao ecossistema amazônico composto de várzeas, pois além de diminuir a dependência de combustíveis fósseis para geração de eletricidade nos sistemas isolados, será uma solução local e descentralizada com benefícios ambientais, propiciando saneamento básico, redução de emissões atmosféricas e contaminação do solo.

Palavras-chave-- Amazônia, Biomassa, Fontes Renováveis de Energia, Pirólise Lenta, Resíduo Sólido Urbano, Saneamento, Sistemas Isolados.

I. NOMENCLATURA

RSU – Resíduo Sólido Urbano. PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos. GD – Geração Distribuída. SIN – Sistema Interligado Nacional. UTE – Usina Termelétrica. PCI – Poder Calorífico Inferior. UAER-SSBV – Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos de São Sebastião da Boa Vista. RSS – Resíduo de Serviço de Saúde. PGIRS – Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. CELPA – Centras Elétricas do Pará. PEML – Peso Específico Médio do Lixo. CNR – *Consiglio Nazionale delle Ricerche*. ETE – Estação de Tratamento de Esgoto. FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

II. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos podem ser classificados como resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, além de lodos provenientes de sistemas de tratamento

de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como determinados líquidos que não devem ser descartados na rede pública de esgoto [1].

As estatísticas nacionais referentes à geração de resíduos em 2011 mostram que a região Sudeste concentra cerca de metade dos resíduos gerados no país, o que corresponde a 97 mil toneladas por dia, 49% do total de resíduos. A Região Nordeste aparece como a segunda maior região geradora de resíduos, contabilizando diariamente aproximadamente 50 mil toneladas de resíduos, 25% do total. As regiões Sul, Centro-Oeste e Norte geram entre 7 e 10% cada uma. Quanto à destinação dos resíduos, as regiões Sudeste e Sul despontam dentre as outras regiões, uma porcentagem maior de resíduos depositados em aterros sanitários - 72 e 70%, respectivamente. O maior índice de destinação de resíduos em lixões aparece na Região Norte, contabilizando 35% [2]. Dados de 2013 mostram que a geração total de RSU no Brasil foi de 76.387.200 toneladas, ou seja, um aumento de 4,1% em relação ao ano anterior. Além disso, em 2013 o índice de destinação final adequada de resíduos permaneceu significativo (58,3%) comparado ao ano de 2012; no entanto, os números alarmantes mostram que a quantidade de RSU com destinação final inadequada cresceu em relação ao ano anterior, totalizando 28,8 milhões de toneladas que seguiram para lixões ou aterros controlados [3].

A destinação inadequada dos resíduos não compromete apenas a estética dos espaços úteis, torna-se também uma ameaça à qualidade de vida e ao meio ambiente, ao contaminar os recursos hídricos com o chorume e ao liberar na atmosfera o gás metano, que é um dos principais causadores do efeito estufa [4]. Para tanto, medidas do poder público são necessárias devido à urgência de se adotar uma política mais rígida no manejo adequado dos resíduos, promovendo práticas recomendadas para a saúde pública, meio ambiente, saneamento básico e utilização dos espaços úteis.

A fim de atingir os objetivos da PNRS – Lei Federal 12.305/2010 – torna-se imprescindível o uso de instrumentos e tecnologias que viabilizem a destinação adequada ambientalmente dos resíduos gerados. Nesse sentido, é fundamental o tratamento, a coleta seletiva, reciclagem e o aproveitamento energético dos resíduos sólidos, eliminando assim a disposição destes em lixões e minimizando a solução provisória e não sustentável representada pelos aterros sanitários.

B. C. Brasileiro, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE-UFPA), Belém, PA, Brasil (e-mail: brubrasileiro@gmail.com).

R. M. Kühl, Mestrando do PPGEE-UFPA, Belém, PA, Brasil (e-mail: ricardomarinokuhl@gmail.com).

P. C. R. Neto, Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPA, Belém, PA, Brasil (e-mail: pedrocrn@gmail.com).

N. P. Souza, Mestranda do PPGEE-UFPA, Belém, PA, Brasil (e-mail: noemypds@gmail.com).

R. N. Muniz, Doutorando do PPGEE-UFPA, Belém, PA, Brasil (e-mail: rafael.n.muniz@ieec.org).

J. A. S. Sá, Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará (PPGCA-UEPA), Belém, PA, Brasil (e-mail: josealbertosa@uepa.br).

B. R. P. da Rocha, Professora do PPGEE-UFPA e pesquisadora do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), Belém, PA, Brasil (e-mail: brigida@ufpa.br).

Uma das consequências dessa nova política e da regulamentação do setor será a introdução no mercado brasileiro de novas tecnologias para o tratamento e o aproveitamento energético dos resíduos sólidos. As tecnologias para tratamento de resíduos sólidos podem ser divididas basicamente em duas partes: as que utilizam o tratamento biológico e as que utilizam o tratamento térmico [5].

Comum a esse cenário – de incentivo à redução de impactos ambientais e aproveitamento energético de recursos – tem-se a possibilidade de geração de eletricidade através da integração de várias pequenas gerações distribuídas utilizando os recursos disponíveis de maneira descentralizada e em um local mais próximo do consumidor, evitando custos de transmissão e distribuição convencional através de longas distâncias. A faixa de potência que caracteriza a GD, abrange de 1 MW até 30 MW.

Para potências inferiores a 1 MW, tem sido incentivada a microgeração (potência instalada menor ou igual a 100 kW) e a minigeração distribuída, (potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW), devido ao fato de que gerações de menor porte podem ser uma alternativa energeticamente segura no momento em que o Brasil sofre com os baixos níveis de estocagem de água dos reservatórios das barragens hidrelétricas, preservando o despacho centralizado da eletricidade das hidrelétricas.

Portanto, as tecnologias de tratamento de resíduos sólidos aliadas ao aproveitamento energético, constituem uma tendência atual, em um panorama nacional marcado pela maior preocupação com saneamento básico, qualidade de vida e incentivo à soluções de geração de energia elétrica menos onerosas e mais sustentáveis; além de que, devido à dimensão geográfica continental do Brasil, usinas de aproveitamento energético poderiam suprir parcial ou totalmente a demanda de eletricidade em localidades que não são atendidas pelo Sistema Interligado Nacional, como no caso de áreas remotas na Amazônia.

III. O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Devido ao grande potencial hídrico brasileiro, a matriz energética é baseada primordialmente na geração hidráulica, com participação de 68,6% na geração de energia elétrica em 2013, conforme ilustra a Figura 1 [6]; além disso, o sistema elétrico nacional é caracterizado pela distância entre os centros de geração e os centros de consumo. Para que a eletricidade alcance esses centros de consumo é imprescindível a existência de um elemento de interligação para transportar a energia produzida aos centros consumidores. É estabelecido então um sistema de transmissão responsável por transportar grandes blocos de energia aos usuários.

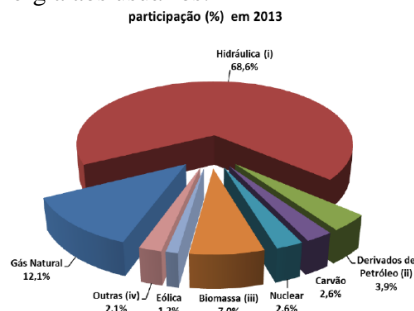


Fig. 1 - Geração de energia elétrica por fonte no Brasil.

Como a elevada tensão de transmissão é inviável para suprir diretamente a demanda dos consumidores, é necessário realizar abaixamento do nível de tensão até os chamados sistemas de distribuição, para então chegar ao nível do usuário. Para tanto, abrange-se três grandes blocos do sistema elétrico de potência divididos em geração, responsável por converter uma modalidade de energia primária em energia elétrica, transmissão, que realiza o transporte de energia elétrica dos centros de produção aos de consumo e a distribuição, responsável por levar a energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos grandes, médios e pequenos consumidores. Para geração e transmissão de energia elétrica, existe o SIN, que compreende uma imensa malha elétrica que abarca grande parte do território nacional. Porém, existem diversos sistemas de menor porte, não conectados ao SIN e por isso, chamados de Sistemas Isolados, que se concentram principalmente na Região Norte. Isso ocorre devido às características geográficas dessa região, composta por floresta densa e heterogênea, rios caudalosos e extensos, que dificultam a construção de linhas de transmissão de grande extensão.

A. O Sistema Interligado Nacional

A rede interligada abastece o Sul, Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e supre parcialmente a Região Norte. Mais de 100 mil quilômetros de linhas de transmissão conectadas a 90% da capacidade nacional instalada de geração de energia constituem o SIN [6, 7].

Cerca de 8% da capacidade instalada corresponde a geração automática, isto é, a energia gerada é utilizada no mesmo lugar, sem utilizar a rede interligada. Fortemente dependente da energia hidrelétrica, o SIN está sujeito a variações sazonais climáticas; porém, a vantagem é que a interligação alivia o impacto das condições meteorológicas através de complementaridades entre as várias bacias hidrográficas.



Fig. 2 – Mapa representativo do SIN, horizonte 2015.

Nota-se no mapa representativo do SIN, conforme a Figura 2 [7], que o maior conglomerado do sistema de transmissão se concentra na região Sudeste, enquanto na região Norte há pouca concentração de linhas de transmissão ou inexistência em determinadas localidades dessa região, visto que fatores como

as peculiaridades geográficas tornam a integração ao SIN mais complexa.

B. Os Sistemas Elétricos Isolados

Os sistemas que não estão interligados ao SIN são denominados sistemas isolados, pois não permitem assim, o intercâmbio de energia elétrica com outras regiões, em função das peculiaridades geográficas onde estão instalados, e da falta de linhas de transmissão. A área que é atualmente atendida pelos sistemas isolados abrange – na região Norte – os estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Amapá, Roraima e parte do Pará; na região Centro-Oeste, o estado do Mato Grosso. Sendo assim, a área contemplada pelos sistemas isolados contempla majoritariamente a Região Norte, cerca de 99,2% da carga, além de ocupar em torno de 45% do território nacional [8].

O suprimento de energia nos sistemas isolados é feito através de UTE, cuja operação e manutenção é complexa devido à realidade das localidades em que estão instaladas; dentre as dificuldades de operação está o custo com o combustível usado, que enfrenta longos percursos até o caminho final, aumentando custos e tornando a operação logística menos eficiente.

Além disso, as condições climáticas da região Amazônica tornam ainda mais oneroso o funcionamento das UTE's, utilizando combustível fóssil, porque o calor reduz a performance e o rendimento das máquinas, já que quando o combustível é queimado, uma parcela de enxofre é liberada e entra em contato com a água da umidade depositada sobre a superfície metálica, formando o ácido sulfúrico, que provoca corrosão nos equipamentos. Somado a isso, a água da umidade condensada dentro dos tanques de combustível se separa do óleo por ser mais pesada, depositando-se no fundo dos tanques, sendo necessário a drenagem a cada 12 horas em um processo contínuo [9].

Na Figura 3 [10], estão demonstradas as centrais elétricas que compõem os Sistemas Isolados, destacando-se em pontos amarelos as UTE's.



Fig. 3 – Centrais Elétricas que compõem os Sistemas Isolados.

Os sistemas isolados procuram suprir as descontinuidades ocupacionais existentes, devido à dispersão geográfica e às

grandes distâncias entre os centros de carga e potenciais de geração, viabilizando assim a utilização da geração distribuída, construídas para fins específicos, de modo a atender a demanda local e próxima aos respectivos centros de carga.

Complementar a isso, tem-se a questão dos resíduos, que no caso dos sistemas isolados, torna-se um atrativo para utilização de tecnologias para o tratamento dos resíduos concomitante a geração de energia elétrica, contribuindo com o saneamento básico e possibilitando aproveitar a energia produzida para substituir de forma parcial ou total o consumo dos combustíveis fósseis, migrando da dependência fóssil para a interdependência residual [4].

IV. ESTRATÉGIAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

A. Energia da Biomassa

A biomassa é, basicamente, uma fonte de energia solar armazenada inicialmente pelas plantas durante o processo de fotossíntese, em que o dióxido de carbono é captado e convertido em materiais vegetais, principalmente sob a forma de celulose, hemicelulose e lignina. Por conseguinte, o termo “biomassa” abrange uma variedade de materiais orgânicos produzidos em um curto período a partir de plantas (fitomassa) e animais (zoomassa). A biomassa pode ser armazenada e convertida em bioenergia útil, incluindo nesse processo resíduos agrícolas, resíduos florestais e madeireiros, além de resíduos de efluentes domésticos, RSU (excluindo plásticos e componentes não-orgânicos), resíduos de processamento de alimentos e cultivo para fins energéticos [11].

O aproveitamento energético da biomassa pode ser feito de diversas formas, compreendendo a combustão ou queima direta os processos de gaseificação, os ciclos de geração utilizando vapor ou gás, o uso do álcool combustível ou óleos vegetais para gerar trabalho mecânico, e o aproveitamento bioquímico através da decomposição anaeróbica. Esta ampla gama de possibilidades caracteriza a biomassa como uma fonte versátil de energia renovável, pois é viável para fornecer eletricidade, calor e combustível (líquidos, sólidos e gasosos), além de ser facilmente armazenável e despachável [4].

No caso dos resíduos sólidos, os aumentos no custo de destinação final devido à quantidade de geração crescente a cada ano, impulsionada pela necessidade de uma gestão adequada e a preocupação ambiental, são exigidas cada vez mais opções alternativas a fim de reduzir não apenas os custos da disposição final dos resíduos, mas fornecer como resultado produtos úteis e valiosos na forma calor e eletricidade gerada, por exemplo.

Os custos calculados de fontes de biomassa que utilizam resíduos orgânicos, lodo de esgoto ou estrume/estercos são praticamente nulos e a capacidade de usinas que operam com esse tipo de matéria-prima está na faixa de 0,5 a 50 MWe [12]. Nesse sentido, as fontes de biomassa podem ser aliadas à redução de custos relacionados à geração de energia elétrica, assim como, evitariam custos técnicos e logísticos, já que pode ser atribuída a essa fonte de energia um valor estratégico dos recursos distribuídos de forma dispersa sobre todo o território, na contramão dos combustíveis fósseis que estão concentrados em determinadas áreas. Assim, a utilização da biomassa está sempre ligada à ocupação territorial, à valorização estratégica da terra como fator de produção [4, 12].

B. O processo de Pirólise

A pirólise, assim como a incineração e a gaseificação, é uma tecnologia que se enquadra como um tratamento térmico - processo que busca reduzir o peso, volume e/ou características de periculosidade dos resíduos, com a conseqüente eliminação da matéria orgânica e/ou características originais, através da decomposição térmica em ambiente controlado – e é definida como uma degradação térmica de hidrocarbonetos na ausência ou deficiência de oxigênio, sob atmosfera redutora [4, 5].

Em sua fase inicial, este processo é endotérmico, pois requer uma fonte externa de calor para aquecer a matéria, a temperatura pode variar de 300°C a mais de 1000°C. Como produtos finais, tem-se produtos sólidos, líquidos e gasosos.

São produzidos pela pirólise três compostos resultantes: o gás de síntese (*syngas*), constituído por CO, H₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos de baixo peso molecular; a fração líquida, que é composta por um bio-óleo, caracterizado por uma composição química complexa: ácidos carboxílicos, aldeídos, álcoois, vapor de água e alcatrão; e a porção sólida, chamado de *biochar* ou biocarvão (*char=charcoal*), que é um resíduo de carbono sólido com um baixo teor de cinzas. O gás de síntese tem um PCI correspondente a aproximadamente 13-15 MJ/Nm³ [13].

A degradação da biomassa que resulta nesses três produtos é um processo complexo acompanhado da formação de mais do que uma centena de intermediários. Os fundamentos do processo ainda não estão completamente esclarecidos. Deve-se a isso, o fato de que a natureza da biomassa é uma mistura de mais de um milhão de estruturas diferentes, que podem decompor-se termicamente através de várias reações químicas diferentes.

Dependendo da temperatura atingida e dos produtos finais, o processo de pirólise pode ser dividido em quatro fases. Na terceira fase, com temperaturas de 280°C a 500°C, reações exotérmicas iniciam a segunda etapa, provocando um aumento na temperatura e formam gases combustíveis (CO, CH₄ e H₂) e líquidos altamente inflamáveis, sob a forma de alcatrão. Na última fase, com temperaturas superiores a 500°C, a biomassa inicial é praticamente degradada totalmente e as reações da segunda etapa são predominantes; enquanto o rendimento em alcatrão, depois de ter atingido um valor máximo, diminui significativamente, transformando-se em gás de síntese, e em um grau menor de carvão, que continua a servir como um catalisador para reações secundárias [13].

É possível fazer uma distinção quanto aos parâmetros de operação como tempo de residência dos resíduos e a temperatura a qual ele é submetido: pirólise lenta - temperaturas de 400°C e longos períodos de residência (40 min – 1 hora); pirólise rápida - temperatura entre 400°C e 600°C e períodos curtos (t < 2 segundos) e flash pirólise - temperaturas superiores a 800°C e períodos curtos (t~1 segundo) [4, 5].

A pirólise lenta ocorre com taxa de aquecimento de 1-5 °C por segundo e as reações ocorrem em equilíbrio. Sob essas condições, a fase gasosa dos produtos será alta, devido à reação secundária completa. Por sua vez os rendimentos finais de carvão são diminuídos através do aumento da temperatura de processo de 400°C a 700°C. Os produtos líquidos atingem um valor máximo a aproximadamente 550°C e uma diminuição na temperatura de 700°C. A diminuição do rendimento em biocarvão a temperaturas mais elevadas está relacionada com o aumento de voláteis de alcatrão, que é submetido às reações

secundárias, o que significa uma menor produção de líquido e mais gás gerado [13].

Os processos de pirólise utilizados para tratamento de resíduos sólidos urbanos que tiveram sucesso são quase que exclusivamente os que utilizam a pirólise lenta [14]. Uma característica dessa tecnologia é a modularidade, onde é possível atender desde pequenas quantidades de resíduos com populações de 10.000 a 20.000 habitantes, até grandes quantidades de resíduos gerados, acima de 300.000 habitantes [15].

Segundo os modelos existentes de reatores utilizados em processos de pirólise, tem-se os de tambor rotativo, tubo aquecido e contato superficial. Aqueles que utilizam tambor rotativo possuem temperaturas de operação que variam entre 400°C e 850°C e a granulometria do material é da ordem de 50 mm. O reator é aquecido externamente e os resíduos são alimentados em uma das entradas do tambor, que gira lentamente e provoca uma movimentação deles em direção à outra extremidade do reator.

Uma evolução da tecnologia de pirólise é alcançada quando o gás de síntese é purificado através de um processo de lavagem, transformando-o em um gás de síntese limpo, sem qualquer contaminante e que pode ser utilizado para geração elétrica e térmica em grupos geradores a gás (cogeração), ou então em processos térmicos para gerar calor (vapor, água quente, ar quente) ou frio, conforme mostra o esquema do reator de pirólise lenta a tambor rotativo [15] como evidenciado na Figura 4 [4].

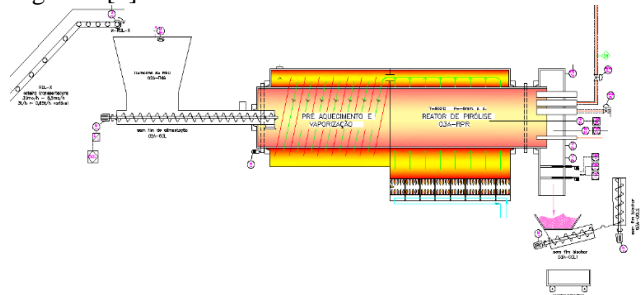


Fig. 4 – Esquema do reator de pirólise lenta a tambor rotativo

Do ponto de vista ambiental, o gás gerado por essa tecnologia não passa por nenhum processo oxidante, pois não há combustão/queima, sendo assim um gás limpo, onde não há produção de dioxinas, furanos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, cinzas volantes, vapores de metais pesados, além da garantia do controle da matéria inerte gerada.

V. O PROJETO UAER-SSBV

A. Características do Município

O município de São Sebastião da Boa Vista pertence à mesorregião do Marajó e à microrregião do Furos de Breves, conforme evidencia a Figura 5. De acordo com o Censo Demográfico de 2010 [16], possui uma população de 22.904 habitantes. Além do comércio em pequena escala, a atividade econômica regional que detém maior importância é o extrativismo, principalmente de açaí e de palmito, pois são elas que garantem emprego e renda para a maior parte da população.

Devido ao fato de que é um município de pequeno porte localizado em uma ilha, os vários rios que cortam a cidade e compõem a orla do município, são utilizados como ruas e

estradas pela população local no deslocamento cotidiano, sendo, portanto, uma cidade conhecida como “Veneza do Marajó”.

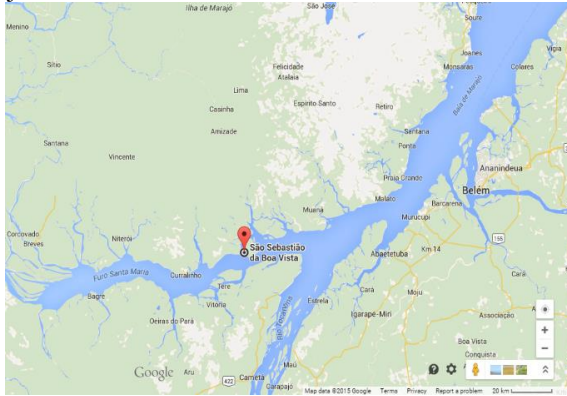


Fig. 5 – Localização geográfica do Município de São Sebastião da Boa Vista.

Quanto à destinação de resíduos, o fato mencionado sobre ser um município recortado por rios, torna o acesso às vilas e comunidades periféricas mais difícil, e limitado através de barcos, o que faz com que a coleta seletiva seja inexistente nessas localidades. Somado a isso, o município não conta com rede de esgoto sanitário, onde destes 90% são fossas rudimentares e/ou a céu aberto e somente 10% são fossas biológicas. A maior parte dos resíduos é despejada nos rios, sendo esta uma realidade em todo Marajó.

A coleta de RSS não obedece à legislação específica para o gerenciamento dos resíduos de saúde. O veículo coletor é inadequado para o exercício dessa função, haja visto que os responsáveis por esse serviço não tiveram nenhum treinamento e não usam os equipamentos de proteção para evitar o contato manual com resíduos hospitalares.

A prefeitura é a responsável direta pela coleta do lixo. O lixo domiciliar é coletado de porta em porta por tratores da prefeitura. A disposição final dos resíduos municipais é feita em um lixão aberto, sem controle ou cuidado algum. É feito apenas uma separação na entrada do lixão do caroço de açaí, pois é uma matéria prima que muitos moradores utilizam para realizar aterros para residências em áreas alagadas.



Fig. 6 – Vista da área utilizada como lixão.

O lixão existente possui mais de 10 anos, com sinais de combustão espontânea do metano gerado pelo excesso de matéria orgânica, conforme ilustra a Figura 6 [17]. Localizado em uma área distante menos de dois quilômetros do centro e próximo ao aeroporto da cidade (menos de 100 metros), prejudica pousos e decolagens devido à presença de urubus e aves carniceiras. Outro ponto negativo acerca da localização do

lixão é devido este se encontrar em uma região cercada de nascentes, distante poucos metros do rio que banha a orla do município, possuindo uma área alagada ao lado de sua entrada.

O município possui Lei Ambiental, Plano Diretor, Lei de Obras e Edificações, Código de Postura e, mais recentemente, foi instituído, em março de 2013, a Lei Municipal de Resíduos Sólidos, com base no PGIRS.

A motivação de se implantar o Projeto UAER-SSBV está pautada no Plano Diretor Municipal Participativo (Lei Complementar nº 165 de 28 de junho de 2008), em seu Capítulo IX, que explicita a necessidade do município em promover a geração de energia a partir de fontes renováveis, valorizando as potencialidades naturais da região.

A implantação da UAER-SSBV seria uma solução tecnológica que resolveria o problema de disposição e tratamento dos resíduos municipais, simplificando a gestão dos resíduos e deste modo reduzindo os custos associados, além de contribuir para o suprimento de parte da energia elétrica, reduzindo o consumo e a dependência dos combustíveis fósseis, em conformidade com a legislação ambiental existente.

Do ponto de vista energético, a justificativa do projeto baseia-se no fato de o município pertencer aos sistemas isolados, pois a geração de energia atual é oriunda de combustível fóssil (diesel), sendo uma energia dispendiosa e de qualidade inferior ao SIN. Portanto, a usina de pirólise propiciaria uma solução descentralizada na geração de energia com base nos resíduos sólidos urbanos, fonte renovável e não poluidora.

B. Cenário atual de geração de energia elétrica

A CELPA é a concessionária responsável pela geração e distribuição de energia no interior do Estado do Pará e nos 33 Sistemas Isolados existentes no Estado, sendo que em 22 deles, a operação e manutenção é realizada pela empresa GUASCOR, como é o caso de São Sebastião da Boa Vista. O atual parque de geração conta com 06 grupos geradores abastecidos por óleo diesel, conforme a Tabela 1 [18].

Tabela 1 – Parque de geração atual do município.

	Capacidade Nominal (kWe)	Capacidade Efetiva (kWe)
Grupo Gerador 1	336	285.6
Grupo Gerador 2	336	285.6
Grupo Gerador 3	350	297.5
Grupo Gerador 4	347	280
Grupo Gerador 5	360	280
Grupo Gerador 6	837.6	712
Total	2566.6	2140.7

A demanda média para 2015 é estimada em 1,5 MW com máxima prevista de 2,158 MW. O consumo de energia anual previsto para 2015 é de 13.112 MWh e o consumo de diesel estimado para 2015 é de 3.789.000 litros/ano [18].

C. A Escolha da Tecnologia

A metodologia utilizada para a escolha da tecnologia se baseou no PGIRS, em que foi realizado um diagnóstico dos resíduos através do levantamento do chamado PEML e da

composição gravimétrica do mesmo. Esses parâmetros são necessários para o cálculo do dimensionamento do sistema proposto.

O cálculo do PEML é feito pelo peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m³. Segundo [17], o PEML encontrado para os resíduos municipais foi de 250 kg/m³ para o lixo domiciliar e 270 kg/m³ para os resíduos de saúde.

A composição gravimétrica fornece os percentuais em peso dos diferentes componentes dos resíduos sólidos em uma determinada amostra (papel, papelão, plásticos, matéria orgânica, metais entre outros). Segundo o PGIRS, na gravimetria realizada, a composição do material reciclável foi de 42,32%, o material orgânico 46,57% e rejeitos compreendem 11,10%, para um peso da amostra igual a 32,23 kg [17].

Aliado ao alto custo do transporte dos recicláveis segregados para fora do município, há inexistência de mercado de materiais recicláveis na região do Marajó, inviabilizando a coleta seletiva e a separação, pois o município se localiza numa região de ilhas distante cerca de 12 horas de barco da capital Belém. A solução encontrada diante desse problema foi utilizar os materiais recicláveis para geração de energia na própria UAER-SSBV, agregando-lhes valor energético.

Diante disso e tendo em vista a inviabilidade da tecnologia de aterro sanitário para a realidade do município, assim como para as demais regiões do Marajó, devido a existência de águas superficiais e áreas de alagamento sazonais, além da falta de área de terra firme para implantação de aterro sanitário na região, optou-se pela tecnologia de pirólise lenta a tambor rotativo.

A comparação entre as diferentes tecnologias utilizadas para o tratamento de RSU não dependem apenas de seus processos de aplicação, mas principalmente do contexto de sua aplicação quanto à finalidade, caracterização dos resíduos, vantagens tecnológicas, formas de custeio e receita.

Essa tecnologia é considerada pelo Conselho Nacional de Pesquisas da Itália (CNR) como a tecnologia mais promissora para o aproveitamento energético de resíduos sólidos, com os maiores ganhos ambientais entre as tecnologias de pirólise existentes, além do fato de ser modular, podendo atender desde plantas de pequena escala, variando entre 02, 05 ou 10 t/dia de resíduos, até plantas de grande escala com 400 ou mais t/dia de resíduos. Através da utilização de grupos geradores a gás é possível obter altas eficiências elétricas, de até 38% [14, 15, 19]. Em suma, as justificativas pela escolha da pirólise lenta foram:

- i. Nesta tecnologia não há necessidade de filtros especiais para o controle de emissões, pois o gás ao passar por um processo de limpeza antes da sua queima, produz emissões menos poluentes;
- ii. Tem um custo de investimento baixo, proporcionando retornos em curto prazo;
- iii. Tem grande flexibilidade no tratamento de resíduos;
- iv. Os inertes produzidos não sofrem oxidação, por isso não apresentam elementos tóxicos como dioxinas e furanos;
- v. O mercado do uso de resíduos como combustível é incipiente no cenário brasileiro, fazendo com que as possibilidades de aplicação da tecnologia sejam muito promissoras.

Um fator importante a se considerar na escolha da tecnologia de pirólise é o fato de que a economia de 20% no consumo de diesel reduziria significativamente os custos com a geração de energia elétrica. Esta afirmação considera que o custo médio do diesel é elevado devido, entre diversos fatores, à localização do município, distante cerca de 12 horas de barco da capital Belém, fator este influente no preço final do diesel, já que o transporte do combustível até o posto acaba por consumir parte do próprio combustível.

D. Princípio de funcionamento

Devido à flexibilidade da tecnologia proposta, o empreendimento irá oferecer solução de destinação final para vários tipos de resíduos que, devido às características locais, são de difícil manejo e logística. Entre eles destacam-se: RSU e RSS; lodo de ETE; resíduos e borras oleosas do armazenamento de combustíveis e lubrificantes; restos orgânicos como caroço de açaí e casca de palmito, abundantes na região e fonte de alimento para população local; e carcaças de animais abatidos pelo abatedouro existente no município.

No processo de pirólise lenta a tambor rotativo, obtêm-se na saída do reator dois compostos: cinzas inertes, quando o material processado é inorgânico, e biocarvão (terra preta), quando é processado material orgânico [14]. A redução de massa do material utilizado é de aproximadamente 85%. Essa característica garante que não havendo a comercialização das cinzas, será necessária uma área muito menor para sua disposição em comparação com a área ocupada pelo aterro sanitário, além do fato de [20] mostrar que as cinzas obtidas pelo processo de pirólise são inertes, não causando risco algum ao solo, ar ou água.

A usina funcionará com capacidade de até 10 toneladas/dia de resíduos gerados, dimensionada com base no PGIRS, já prevendo expansão do empreendimento e crescimento do município num horizonte de 30 anos de operação. Com 10 t/dia de resíduos é possível produzir um excedente de 100 m³/h de gás de síntese, resultando em 200 kW de geração elétrica. Os dados técnicos principais do funcionamento da UAER-SSBV são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados técnicos principais da UAER-SSBV.

Dados Técnicos Principais	
Capacidade de Tratamento Total Bruto	10 t/dia
Número de grupos geradores	1
Capacidade de Geração de Gás de Síntese	100 m ³ /h
Capacidade de Geração Unitária do Grupo Gerador	200 kW
Refrigeração	Circuito Fechado
Potência de Transformação (transformador elevador)	1 x 275 kVA
Tensão Nominal de conexão ao sistema de distribuição	13,8 kV
Consumo Interno	30 kW

Quanto aos grupos geradores, seriam do tipo síncrono – três fases, 220 kVA/0,92 potência/fator de potência, tensão nominal de 0,440 kV, faixa de ajuste de voltagem de ± 5% e frequência/rotação de 60 Hz/1.800 rpm. Quanto ao equipamento motriz seria do tipo motor a pistão, ciclo térmico

Otto/Simples, 6 cilindros, potência nominal de 200 kW, sistema de rotação de 1.800 rpm, PCI base de 7.590 kJ/kWh e temperatura da água do sistema de refrigeração de 25°C.

O motor utilizado pela tecnologia é de quatro tempos, de combustão pobre, com ignição por vela, pistões alternativos, turbo alimentado com refrigeração do ar de alimentação. Além disso, é projetado para funcionar continuamente com gás de síntese com qualquer carga entre 40-100% da potência nominal. O motor pode funcionar com cargas de 25-40% por um período não superior a 2 horas após o qual, a carga tem que ser aumentada para no mínimo 70% [22].

O sistema de controle e automação da usina será feito através de um painel central, exceto poucos equipamentos secundários que terão operação manual. O sistema de automação permitirá que se dê partida ou pare os equipamentos da usina e do grupo gerador e se opere os diversos sistemas auxiliares.

Além disso, haverá indicações remotas dos principais parâmetros de operação, como temperaturas, pressões, rotações, tensão, corrente, frequência, permitindo a sua atuação remota. A operação também contará com alarmes sonoros e luminosos dos principais parâmetros de operação, além de um sistema automático de sincronismo dos geradores, ajustando as cargas individuais e um sistema automático de sincronismo com a rede.

Quanto a logística, a montagem da UAER-SSBV completa seria realizada em dois contêineres padrão de 40 pés aberto, incluindo a tremonha, o reator de pirólise, equipamentos auxiliares como ciclones, venturi, torre de lavagem, entre outros, e em volta serão instalados o gasômetro, o grupo gerador cabinado, a sala de controle, etc. A Figura 7 ilustra uma unidade de demonstração dentro do contêiner, com dimensões e capacidade equivalente à UAER-SSBV, utilizando 10 t/dia de resíduos com potência de 200 kW.



Fig. 7 – Unidade de Demonstração de 10 ton/dia e 200 kW de geração.

A distribuição de energia no município é feita em 13,8 kV, oriunda da subestação elevadora, e é conectada diretamente à linha de distribuição local, em circuito simples, de acordo com o estabelecido pelo parecer de acesso, que são os requisitos de conexão conforme os procedimentos de distribuição. A energia produzida atenderá em termos de qualidade e características aos requisitos do sistema no ponto de conexão e o acordo operativo a ser assinado com a CELPA [19].

A medição de faturamento de energia entregue será no terminal do transformador elevador de média tensão da UAER-SSBV, utilizando-se um medidor eletrônico tipo aprovado. Será fornecido um segundo medidor de reserva no caso de falha do

primeiro. A calibragem e leitura dos medidores serão feitas juntamente com a concessionária.

Em geral e conforme solicitado, a energia reativa será absorvida dentro dos limites estabelecidos pelo acordo operativo. O projeto incluirá um sistema de comunicações entre a central de despacho do município e a sala de controle [22].

O gás síntese será fornecido pela unidade de pirólise, limpo e sem particulados, para o gasômetro, onde ele terá sua composição química uniformizada, de modo que o gás destinado aos grupos geradores não tenha variações bruscas de composição e poder calorífico. Cerca de 30% do gás é direcionado para os queimadores de aquecimento do tambor rotativo e os 70% restantes são enviados para os grupos geradores. O sistema tem capacidade para produzir o equivalente a 100 m³ de gás de síntese por hora.

Em relação à disponibilidade hídrica para a UAER-SSBV, a água a ser utilizada pela usina será de responsabilidade da Prefeitura Municipal. Estima-se um consumo diário máximo de 8m³, incluindo reposição do sistema de refrigeração e uso geral. Ressalta-se que o sistema de resfriamento dos grupos motogeradores utilizados no empreendimento, é do tipo ciclo fechado, através de radiadores [22].

A operação será local e a manutenção ficará sob a responsabilidade da fornecedora do equipamento. Além disso, será elaborado um programa de manutenção, de modo a maximizar a vida útil do equipamento. A operação e manutenção da usina consiste de 03 operações básicas: a mobilização para operação, a operação da usina e a manutenção preditiva e preventiva dos equipamentos.

Tanto o PGIRS quanto o Projeto UAER-SSBV estão devidamente protocolados na FUNASA do Estado do Pará e no Ministério das Cidades através de sua Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. A tecnologia proposta aguarda seu pleno licenciamento a nível nacional para que possa ser aprovada pelos órgãos ambientais e entidades de financiamento, com a finalidade de captação dos recursos necessários para sua execução.

E. Localização do Empreendimento



Fig. 8 – Foto aérea do município de São Sebastião da Boa Vista.

A área escolhida para instalação da UAER-SSBV é onde atualmente se encontra o lixão do município, sendo necessária para a instalação uma área de 1.500 m². Está previsto no projeto

básico de engenharia a biorremediação do lixão com recuperação da área degradada [17, 22].

Deve-se a isso, o fato de que é uma das poucas áreas de terra firme no município, além de ser um local estratégico para a implantação da usina, pois está a uma distância de menos de 2 km do centro da cidade, 100 metros da pista do aeroporto, 500 metros do principal rio que banha a orla da cidade e a 150 metros da subestação da CELPA e dos grupos geradores pertencentes à empresa GUASCOR, o que facilitaria a integração da usina ao sistema de distribuição de energia elétrica do município, conforme observa-se na Figura 8 [22].

F. Impactos ambientais

A UAER-SSBV é projetada, construída e operada em conformidade com as diretrizes locais e atende aos requisitos de controle de emissões de poluentes dos órgãos de meio ambiente.

Quanto aos resíduos líquidos, todas as borras de lubrificante e graxa da usina serão coletadas e direcionadas para o reator de pirólise onde serão processadas e transformadas em gás de síntese. Os resíduos sólidos gerados pela usina como filtros cartuchos de água e óleo, filtros do sistema de tratamento de águas contaminadas, resíduos alimentares e resíduos do tanque de borra serão direcionados para o reator de pirólise onde serão processados e transformados em gás de síntese.

Com relação às emissões atmosféricas, os resultados permitem o melhor desempenho ambiental dentre as tecnologias existentes no mercado, já que poluentes como vapores ácidos são totalmente eliminados no sistema de lavagem dos gases de síntese e elementos cancerígenos como dioxinas e furanos simplesmente não são produzidos [22, 23].

Tabela 3 - Concentração de poluentes nos gases do aquecimento do reator e no escape do grupo gerador.

mg/Nm ³	Emissões no aquecimento do reator	Limites Normativos CONAMA 316/2002
Particulado	0,89	70
SO ₂	2,46	280
NO _x	370	560
CO	21,9	123
Hidrocarbonetos	<10,000	/
HCl, HF, Dioxinas, Furanos e Metais Pesados	0,00	Resultam em emissões zero no sistema de aquecimento do reator

mg/Nm ³	Emissões no escape do grupo gerador	Normativa Alemã (TA Luft)
NO _x	<500	1000
CO	<300	1000

A Tabela 3 [22, 23, 24, 25] mostra que a geração de poluentes nos gases de combustão provenientes do sistema de aquecimento do reator é muito inferior ao exigido pelo CONAMA, através de sua Resolução 316/20 [23]. Assim como as emissões dos gases de escape dos grupos geradores estão em conformidade com os limites descritos pela legislação alemã sobre a qualidade do ar – TA-Luft [25] – já que não há normativas nacionais de limites de emissão a fim de comparar os resultados.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de São Sebastião da Boa Vista possui características importantes para atrair investimentos em geração descentralizada de energia, principalmente utilizando os resíduos produzidos pelo município como fonte renovável de energia. Dentre essas características tem-se que é uma localidade inserida nos sistemas isolados com geração de eletricidade a partir de grupos geradores a diesel cujo consumo previsto estimado de diesel para 2015 é de 3.789.000 litros/ano; além disso, há a problemática com a gestão e logística de resíduos que torna o lixão uma alternativa inapropriada de disposição final desses resíduos.

A fim de melhorar a qualidade de vida da população, foi feito um estudo pioneiro sobre aproveitamento energético no Brasil com apoio político municipal, além de que o município foi também o primeiro do Estado do Pará a elaborar seu PGIRS conforme a PNRS orienta.

A pirólise lenta a tambor rotativo foi a tecnologia escolhida para operar a UAER-SSBV devido à viabilidade de solucionar o problema dos resíduos, produzir energia limpa e renovável para redução da dependência fóssil do município e também produzir um insumo agrícola de alto valor agregado para a agricultura familiar – biocarvão – atividade essa que é bastante praticada no município.

Nesse sentido, está em processo a nacionalização da tecnologia de pirólise lenta a tambor rotativo, que está sendo realizada desde início de 2015 através de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) com a Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (FEQ/Unicamp), cujos resultados poderão reduzir os custos de construção, operação e manutenção, tornando viável a implantação do projeto em municípios pertencentes aos sistemas isolados.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE/UFGPA) e ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) pelo apoio logístico e financeiro na preparação desta pesquisa.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [2] ABRELPE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos. São Paulo, 2013.
- [3] ABRELPE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2013. [Online] Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. [Acesso em: 02/06/2015].
- [4] MUNIZ, R. N. Desafios e Oportunidades para o Acesso Universal à Energia Elétrica na Amazônia. Dissertação de Mestrado. Belém: Universidade Federal do Pará, 2015.
- [5] REICHERT, F. R. Relatório Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos. INNOVA Energias Renováveis. Rio de Janeiro, RJ. 2012.
- [6] BEN. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional Ano Base 2013, 2014. [Online] Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. [Acesso em: 05/06/2015].

- [7] ONS. Operador Nacional do Sistema. Mapas do SIN, 2014. [Online] Disponível em: http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx. [Acesso em: 05/06/2015].
- [8] MME. Luz Para Todos, um marco histórico - 10 milhões de brasileiros saíram da escuridão. Brasília: Barbarabela Editora Gráfica, 2010.
- [9] ELETRONORTE. Revista Corrente Contínua - "A complexa operação dos parques termelétricos da Amazônia", n. 219. Brasília, 2008
- [10] ANEEL. Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil, 2014. [Ónline] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>. [Acesso em: 05/06/2015].
- [11] IEA. International Energy Agency. Bioenergy Project Development & Biomass Supply. Paris, 2007.
- [12] IEA. International Energy Agency. Technology Roadmap – Bioenergy for Heat and Power. Paris, 2012.
- [13] ZAJEC, L. Slow pyrolysis in a rotary kiln reactor: Optimization and experiment. Dissertação de Mestrado. Akureyri: University of Iceland & the University of Akureyri, 2009.
- [14] CONTI, L. La pirolisi: il processo, I punti di forza, le opportunità. Cagliari, Itália: Università degli Studi di Sassari, 2009.
- [15] CHAMON, R. C.; CARDOSO, R.; BARROS, C. F. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos - Introduzindo uma nova tecnologia para o cenário brasileiro: Pirólise Lenta a Tambor Rotativo. Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente. Niterói: UFF, 2013.
- [16] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatísticas*. 2011. [Online] Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm> [Acesso em: 20/06/2015].
- [17] PGIRS-SSBV. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. São Sebastião da Boa Vista, 2012.
- [18] ELETROBRÁS. Plano Anual de Operação para os Sistemas Isolados 2015. Grupo Técnico Operacional da Região Norte. Rio de Janeiro, 2014.
- [19] COSENZA, C. A. N. et al. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende, RJ: FIRJAN, 2014.
- [20] VIEIRA, G. E. G. et al. O processo de pirólise como alternativa para aproveitamento do potencial energético do lodo de esgoto - uma revisão. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, 2011.
- [21] FAAJ, A. et al. Novas Tecnologias para os Vetores Modernos de Energia da Biomassa. In: Uso da Biomassa para produção de Energia na Indústria Brasileira. Campinas: UNICAMP, 2005.
- [22] UAER-SSBV. Projeto Básico de Engenharia Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos de São Sebastião da Boa Vista. Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. São Sebastião da Boa Vista, 2013.
- [23] CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução no.316/2002, 2002. [Online] Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338> [Acesso em: 5/06/2015].
- [24] DE MELO, G. C. B. et al. Avaliação do desempenho de um reator de pirólise no tratamento de uma amostra simulada de resíduos sólidos de serviço de saúde. IX Seminário Nacional de Resíduos Sólidos. Palmas, TO: ABES, 2008.
- [25] TA-LUFT. *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift Zum Bundes - Immissionsschutzgesetz (TA-Luft)*. Technische Anleitung Zur Reinhaltung Der Luft. Germany. 1986.

IX. BIOGRAFIAS



Bruna Chaves Brasileiro nasceu em Belém, Estado do Pará. Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE/UFPA) na área de concentração em Sistemas de Energia e linha de pesquisa em Fontes Renováveis e atua como membro do grupo de pesquisa ENERBIO.



Ricardo Marino Kühl nasceu em São Paulo, Estado de São Paulo. Graduado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Atualmente é discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE/UFPA), na área de concentração em Sistemas de Energia e linha de pesquisa em Fontes Renováveis e atua como membro do grupo de pesquisa ENERBIO.



Pedro Coelho de Rezende Neto nasceu em Belém, Estado do Pará. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é aluno especial do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE/UFPA) na área de concentração em Sistemas de Energia e linha de pesquisa em Fontes Renováveis e atua como membro do grupo de pesquisa ENERBIO.



Neomy Pereira de Souza nasceu em Belém, Estado do Pará. Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE/UFPA) na área de concentração em Sistemas de Energia e linha de pesquisa em Fontes Renováveis e atua como membro do grupo de pesquisa ENERBIO.



Rafael Ninno Muniz nasceu em Londrina, Estado do Paraná. Possui Graduação e Mestrado em Engenharia Elétrica e atualmente é discente de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (PPGEE/UFPA), na área de planejamento energético e fontes renováveis de energia. Desenvolve pesquisas em parceria com o Núcleo de Altos Estudos da Amazônia (NAEA/UFPA) e Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM). Atua nas áreas de meio ambiente, energia e resíduos, aproveitamento energético de resíduos e saneamento ambiental.

ambiente, energia e resíduos, aproveitamento energético de resíduos e saneamento ambiental.



José Alberto Silva de Sá nasceu em Belém, Estado do Pará. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade da Amazônia (UNAMA), Mestrado em Engenharia Civil e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é professor na Universidade do Estado do Pará (UEPA) e atua no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Professor na Universidade da Amazônia (UNAMA). Líder do GEMDA (Grupo de Estudo de Mineração de Dados da Amazônia - UEPA).

Pesquisador nos seguintes grupos (registrado no diretório do CNPq): Inteligência Artificial para o Processamento de Imagens Ambientais; Descargas Atmosféricas na Amazônia; e Competitividade e Sustentabilidade Regional. Áreas de pesquisa: Mineração de Dados; Inteligência Artificial; Ambiente, Sustentabilidade e Desenvolvimento Regional; e Descargas Atmosféricas.



Brigida Ramati Pereira da Rocha nasceu em Belém, Estado do Pará. Graduada em Engenharia Elétrica (1976), Mestrado em Geofísica (1979), Doutorado em Geofísica pela Universidade Federal do Pará (1995) e Pós-Doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), na área de alta tensão. Professora da Universidade Federal do Pará possui experiência em Engenharia Elétrica com ênfase em raios, alta tensão e compatibilidade eletromagnética, atuando principalmente nas seguintes áreas: Descargas Atmosféricas, Energia, Processamento Digital de Sinal, Biomassa e Planejamento Energético. Atualmente coordena pesquisas em descargas atmosféricas no CENSIPAM, é bolsista de Produtividade do CNPQ (Nível II). É consultor ad-hoc CNPQ, FINEP, FAPESPA e FACEPE. Colaboradora de trabalhos técnicos científicos em várias conferências e revistas internacionais

Atmosféricas, Energia, Processamento Digital de Sinal, Biomassa e Planejamento Energético. Atualmente coordena pesquisas em descargas atmosféricas no CENSIPAM, é bolsista de Produtividade do CNPQ (Nível II). É consultor ad-hoc CNPQ, FINEP, FAPESPA e FACEPE. Colaboradora de trabalhos técnicos científicos em várias conferências e revistas internacionais