

APROVEITAMENTO DE BIOMASSA RESIDUAL EM ENGENHO DE ARROZ PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA MICRO CENTRAL TERMELÉTRICA

Cindi de Oliveira Gehlen – cindi_gehlen@hotmail.com

Flávio Dias Mayer – flaviodymayer@yahoo.com.br

Roger Gallon – roger_gallon@hotmail.com

Seimur Tiago Serafini – stserafini@yahoo.com

Weslei Monteiro Ambrós – wma_snipes@hotmail.com

Ronaldo Hoffmann – hoffman@ct.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Química

Resumo: Neste estudo, é efetuada a avaliação da viabilidade econômica e ambiental para uma central termoelétrica de pequena escala, que utiliza resíduo de casca de arroz para produção de energia. O sistema modular utilizado é constituído por uma turbina a vapor suportada por um chassi, que serve como reservatório de óleo lubrificante, formando um conjunto chamado de Micro Central Termoelétrica (MCT). A potência nominal instalada foi de 280 kW, sendo que produziu até 110 kW na safra e em torno de 225 kW fora da safra. Em 2005 foram processados aproximadamente 6.540 toneladas de casca de arroz pela unidade onde foi instalada a MCT, sendo depositada em um aterro próximo ao engenho. O total referente à mitigação de metano foi estimado em 186 toneladas por ano ou 6.003 tCO₂eq/ano, a parcela devido à redução do consumo de energia da rede elétrica constitui 312,31 tCO₂eq/ano, de forma que a quantidade de gases de efeito estufa que deixaram de ser emitidos anualmente foi calculado para cerca de 6.315,32 tCO₂eq/ano. O custo para compra e instalação do sistema modular foi da ordem de R\$380 mil, contudo, a rentabilidade do projeto mostrou-se proveitosa, pois atendeu completamente o consumo de energia da empresa fora do período de safra. Além disso, há o lucro referente ao CER (Crédito por Redução de Emissões), que não apresenta um valor fixo, mas se considerado um valor de US\$7,00 por tonelada de CO₂ evitada, renderia ao projeto desta MCT o ingresso de aproximadamente US\$79.573,00 por ano, referente à comercialização dos créditos de carbono. Ressalta-se a contribuição da geração descentralizada de energia elétrica para o desenvolvimento regional e sustentável.

Palavras-chave: Micro Central Termelétrica; Casca de arroz; Energia

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do último século a produção e fornecimento de energia elétrica têm se tornado cada vez mais centralizados, tanto no potencial unitário das centrais quanto na estruturação dos sistemas de transmissão a longa distância, necessitando do emprego de combustíveis fósseis de alto teor energético, que liberam valores consideráveis de poluentes em sua queima.

Entretanto, nos últimos anos, o setor elétrico tem passado por mudanças que visam alterar seu caráter centralizador. A elevação dos custos de geração pelos métodos convencionais, as restrições relativas aos impactos ambientais e a crescente escassez dos combustíveis fósseis, entre outros fatores, tendem a tornar a produção de energia elétrica mais descentralizada, incentivando a geração em pequena escala e o uso mais intensivo de fontes renováveis de energia.

Entre estas fontes de energia, destacam-se a hidráulica, eólica, solar e, especificamente para o Brasil, a biomassa, que possui importante participação na matriz energética do país, embora pouca contribuição na geração de eletricidade. Sua utilização é importante por permitir a expansão nacional da capacidade de geração elétrica, aumentando a produção de empresas sem a necessidade de provocar desempregos, cortes de investimentos e outras formas de reduções de custo a fim de compensar o maior investimento com energia.

Para o Rio Grande do Sul, levando-se em conta apenas os resíduos de biomassa vegetal mais abundantes (casca de arroz e resíduos florestais), estima-se um potencial termelétrico sustentável de 100 a 120MW no setor arroseiro e 35 a 50MW no setor madeireiro, o que, associado ao fato de serem gerações dispersas, com potência média em torno de 500 a 1000kW (Pretz, 2001), demonstra o potencial e a oportunidade da proposta, principalmente como referência aos empresários que, por suposto, não são do setor de geração elétrica. Estendendo-se ao Brasil, o potencial teórico de geração, somente com biomassa residual, pode alcançar os 20 mil MW.

Dentro do setor industrial, os que mais utilizam a biomassa são as indústrias de açúcar, álcool, papel, celulose e alimentos. Este fato se deve à grande quantidade de biomassa como subproduto de processo. A produção própria de eletricidade no setor industrial ainda é baixa se comparada ao consumo e mesmo ao potencial. Uma maior participação das indústrias na autoprodução de energia representa uma grande vantagem na garantia da oferta, principalmente de energia elétrica.

Em situações críticas na oferta de eletricidade, no caso de sistema remotos e/ou isolados, torna-se especialmente interessante à geração própria, uma vez que a empresa não necessitará diminuir o ritmo da produção e poderá, eventualmente, comercializar o excedente. Caso contrário, ela poderá se obrigar a reduzir a produção, reduzir investimentos em tecnologia e até mesmo a diminuição do quadro de funcionários, aumentando os problemas inerentes ao desemprego.

Levando-se em conta os fatores acima citados, devem-se destacar as termelétricas movidas a biomassa, especialmente o uso dos resíduos de processos agroindustriais utilizados de forma sustentável, que apresentam balanço de carbono praticamente nulo, isto é, constitui-se em uma fonte de energia não poluente, ajustando-se perfeitamente ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). (Coelho *et al*, 2000).

A situação econômica atual é favorável à instalação de centrais termelétricas alimentadas com biomassa vegetal. Em primeiro lugar, a indústria nacional teve uma grande resposta em função da desvalorização cambial. Equipamentos como turbinas a vapor, de condensação a vácuo, e grandes geradores elétricos com painéis de automação, começaram a ser fabricados dentro do país, com idêntica qualidade aos importados. A indústria nacional encontra-se preparada para a demanda de ciclos de turbina a vapor e mesmo a exportação de equipamentos e processos (Pretz, 2005).

Em segundo lugar, a região sul do Brasil, por exemplo, tem um bom potencial em fontes de biomassa. A oferta da biomassa no estado do Rio Grande do Sul apresenta uma grande vantagem: ela está disponível nos locais com demanda de energia reprimida, o que viabiliza a instalação de centrais termelétricas à biomassa, uma vez que o transporte deste combustível constitui-se num dos maiores problemas (Hoffmann, 1999). Exemplo disso é o município de São Pedro do Sul, que com uma produção agrícola aproximada de 380 mil sacas de arroz, processa algo em torno de 480 mil sacas (IRGA, 2006), constituindo-se um pólo regional da indústria arroseira, tendo um excesso de material residual.

Para a faixa de potência considerada (>1.000 kW), poucos dados são apresentados com relação à eficiência de conversão dos sistemas pela literatura pertinente ao assunto. Coelho (2000) apresenta uma eficiência de 15 a 18% para ciclos a vapor de pequeno porte. Segundo Nogueira (2003), a eficiência líquida para sistemas de geração de eletricidade utilizando-se turbina a vapor é de 16%, para uma faixa de potência entre 1.000 e 2.000 kW.

Na cogeração a partir de um sistema de ciclo a vapor com turbina de contrapressão em potências inferiores a 5 MW, a eficiência varia de 8,4 até 10,4% (Rosillo-Casille, 2005).

Deve-se ressaltar que nenhum dos autores citados apresenta dados de eficiência para faixas específicas menores que 1.000 kW, pelo fato de não haver, até então, no mercado, equipamentos disponíveis que atendessem a demanda de pequenos potenciais termelétricos.

O que se observa, então, é que há uma falta de dados que contemplem a geração termelétrica para pequenas potências, especialmente em se tratando de eficiência para os processos.

Nesse contexto, executou-se um projeto demonstrativo de geração de energia térmica e elétrica, custeado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq. Partiu-se de uma unidade descentralizada que emprega biomassa vegetal, em processo térmico que supre as necessidades próprias de uma empresa, mediante substituição, especificamente, de uma unidade que já opera com tecnologia de baixa eficiência, por outra de tecnologia mais versátil e de maior eficiência, alterando a base tecnológica de geração de potência, sem a desconexão total da primeira.

2. OBJETIVOS

O objetivo do estudo realizado foi avaliar a melhoria do processo de geração de potência (aumento de rendimento), utilizando tecnologia de maior eficiência na geração de energia a partir da biomassa. Além disso, fazer uma avaliação da viabilidade econômica e ambiental do processo de geração termelétrica em pequena escala, através da implantação de uma planta de demonstração.

3. VISÃO GERAL DO PROJETO

O projeto resultou de um convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria, através do Comitê de Energia e Sustentabilidade, a arroseira Doeler Alimentos Ltda, de São Pedro do Sul e a PTZ Fontes Alternativas de Energia Ind. Com. e Serviços, de Porto Alegre, para implantar uma unidade de geração termelétrica que operasse a partir de resíduos agrícolas, especificamente casca de arroz, no município de São Pedro do Sul, Estado do Rio Grande do Sul.

A utilização da casca de arroz para autogeração de energia demonstra ser um processo atraente, pois este resíduo possui um considerável poder calorífico, além de ser gerado no mesmo lugar em que é consumido, comumente o engenho ou a planta industrial de parboilização. Sua utilização tem sido dirigida tanto para produção direta de calor quanto para geração de energia elétrica. A Tab. 1 mostra o poder calorífico de diferentes biomassas.

O conceito de Micro Central Termelétrica (MCT) refere-se a uma unidade termelétrica com potências inferiores a 2,0 MW. Devido ao tamanho reduzido dos equipamentos constituintes, a montagem é feita segundo uma concepção modular, no qual os equipamentos são suportados por um chassi, assemelhando-se a um grupo gerador diesel, inclusive em suas dimensões, sendo que a caldeira também pode ser acoplada no chassi, juntamente com o conjunto turbo gerador. Ressalta-se que a MCT instalada com o emprego do conceito modular foi pioneira no Brasil.

Tabela 1 - Poder calorífico de diversos tipos de biomassa.

Tipo de Biomassa	Poder calorífico (kJ/kg)
Casca de arroz	13.376,00*
Milho	12.540,00
Trigo	12.540,00
Soja	12.540,00
Coco	19.047,50
Casca de amendoim	17.898,00
Casca de Castanha de Caju	17.898,00

Fonte: Coelho *et al.*, 2000
 *Retirado de: CIENTEC, 1986

Deve-se destacar a alternância da operação de um engenho de arroz, referente aos períodos de safra e fora de safra, que influencia consideravelmente na operação da MCT. No período de safra, durante os meses de março e abril, a energia consumida pela MCT é muito maior que no resto do ano e toda casca produzida é utilizada para secagem do arroz que será armazenado, impossibilitando a operação da micro central.

O processo de aproveitamento energético foi especialmente desenvolvido pela empresa PTZ - Fontes Alternativas de Energia, para atender estabelecimentos industriais de médio e pequeno porte, que apresentam produção de resíduos passíveis de serem queimados através de uma termelétrica compacta, no sistema *turn-key*, para a geração de pequenas potências, até 2 MW.

A geração de energia na MCT segue o ciclo Rankine, no qual é utilizado o calor proveniente da combustão para geração de vapor em uma caldeira, acumulando energia térmica em forma de calor que aciona uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico. Como este ciclo apresenta cogeração, representa uma vantagem adicional em termos de eficiência energética, pois produz energia térmica e elétrica a partir do mesmo combustível. O processo de funcionamento da MCT pode ser resumido da seguinte forma (Fig. 1):

- Bombeamento de água para caldeira;
- Aquecimento a pressão constante até formação de vapor superaquecido;
- Expansão do vapor em uma turbina (turbinagem), provocando redução na temperatura e pressão;
- Acionamento do gerador elétrico.

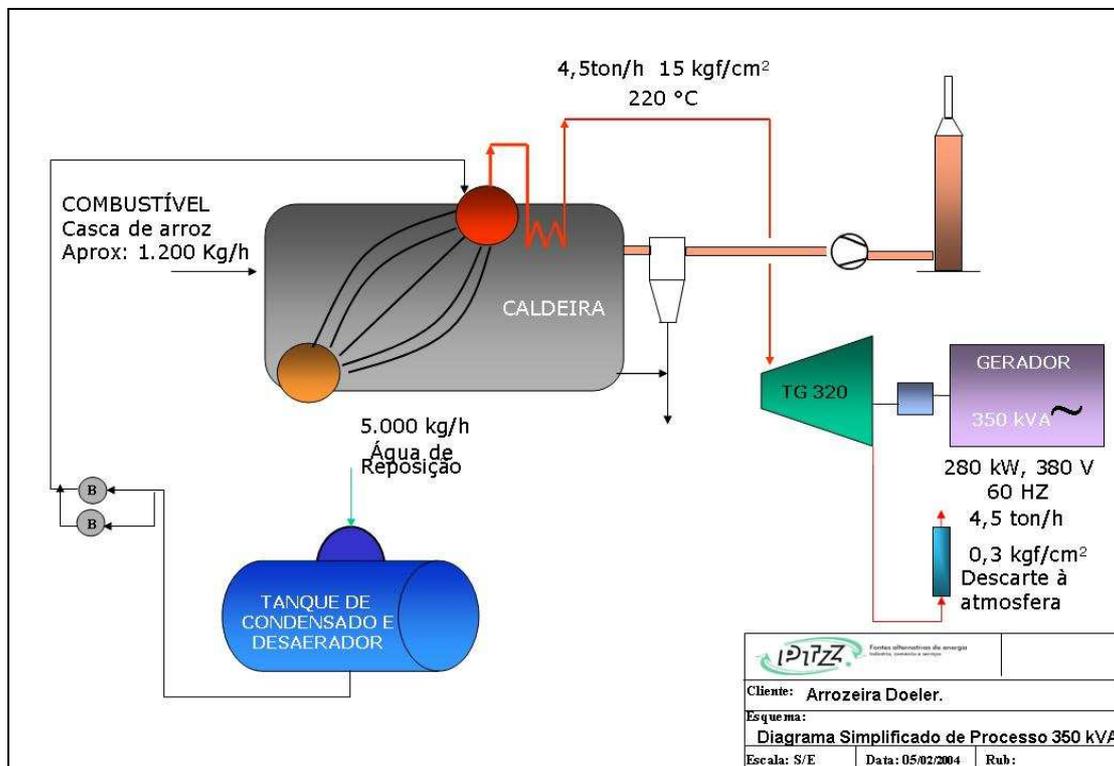


Figura 1 - Diagrama simplificado do processo.

3.1 Aspectos técnicos do projeto

A potência nominal instalada é de 280 kW, sendo que desta potência, pequena parcela (40 kW) é destinada para suprir a operação da central termelétrica e o restante ao suprimento do engenho de arroz. A usina opera durante 11,06 horas por dia em média para o período fora de safra, não havendo previsão de comercialização de excedentes.

Como os recursos disponíveis para o projeto não englobava a aquisição de um gerador de vapor (caldeira), procurou-se uma empresa que possuísse esse equipamento. A empresa Doeler Alimentos Ltda já dispunha de um gerador de vapor da fabricante Mernack, com fornalha para a queima de casca de arroz, com capacidade nominal de 6000 Kg/h de vapor a 1,57 MPa (16,0 kgf/cm²) superaquecido a 493,15 K (220°C), embora, devido ao uso e à antiga fabricação, a caldeira não estivesse operando nas suas condições plenas. Esta caldeira acionava um motor síncrono de pistão recíproco (locomóvel), desde meados da década de 1980, somente durante o horário de ponta (das 18h às 21h), em que é cobrado pela concessionária um adicional de 860% sobre o consumo de eletricidade. O baixo rendimento elétrico global do antigo sistema, no máximo 3,15%, não permitia que fosse gerado mais de 200 kW nos bornes do gerador, atendendo 90% da demanda atual da empresa.

O processo de produção de arroz de uma indústria de beneficiamento, como a Doeler Alimentos, pode ser dividido em dois setores principais: o engenho, que compreende as atividades desde o descasque até a expedição do arroz beneficiado, e o armazenamento, abrangendo a recepção do arroz, a secagem e o armazenamento propriamente dito.

A recepção e a secagem do arroz ocorrem durante o período de safra, que vai de março ao final de abril. Nesse período, a demanda de energia elétrica da empresa atinge 400 kW e todo o vapor gerado pela caldeira é utilizado pelos secadores de arroz, impossibilitando o funcionamento do sistema de geração de energia elétrica ao longo da maior parte do dia. A geração de eletricidade só poderia ocorrer quando os secadores não estivessem em funcionamento, ou seja, no horário de ponta, quando o locomóvel era acionado para fornecer 200 kW ao engenho.

No período fora de safra (maio a fevereiro), apesar de os equipamentos existentes serem capazes de produzir energia suficiente para suprir o consumo da empresa, o baixo rendimento do locomóvel implica num consumo de casca de arroz maior do que o produzido pelo engenho, impossibilitando a geração contínua de energia elétrica. Desta forma, a empresa armazenava casca suficiente para suprir o consumo da caldeira durante as três horas do horário de ponta.

Outra desvantagem desse equipamento antigo é a instabilidade da eletricidade gerada, com grande variação da frequência, impossibilitando que fossem atendidos os equipamentos eletrônicos, como as máquinas selecionadoras de arroz, mas permitindo o funcionamento, sem maiores problemas, dos motores em geral. Pode-se citar ainda que o vapor era contaminado com o óleo lubrificante do conjunto biela-pistão do locomóvel, de modo que ao ser descartado para a atmosfera, gerava um impacto adicional no meio ambiente.

O sistema modular do turbogerador (Fig. 2) consiste de uma turbina TG 320 de 280 kW, com consumo de vapor de 4500 Kg/h a 1,48 MPa (15,0 kgf/cm²) e 493,15 K (220°C), e de um gerador síncrono, de 4 pólos e 380 volts. Esta turbina produz energia de excelente qualidade, apresentando mínima variação de frequência, mesmo quando ocorre grande flutuação de carga (potência exigida) no gerador.



Figura 2 - Sistema modular do turbogerador com potência de 280kW.

4. RESULTADOS

Através da substituição do locomóvel pelo sistema turbogerador ocorreu uma redução na oscilação da energia elétrica gerada, permitindo a utilização dos equipamentos eletrônicos com a energia gerada pela MCT. Além disso, não há contato do vapor com óleo lubrificante, eliminando a contaminação outrora existente.

Apesar de terem sido efetuadas algumas reformas na caldeira, esta ainda não está operando conforme previsto no projeto. Na Tab. 2 estão comparadas às propriedades do vapor no projeto com o que está sendo gerado atualmente.

Tabela 2 - Propriedades do vapor na saída da caldeira

Características do vapor	Estado termodinâmico	Pressão absoluta (MPa)	Temperatura (K)	Vazão (kg/h)
Projeto	Superaquecido	1,57	493,15	4.500
Atual	Saturado úmido	1,57	473,55	3.592

Considerando as atuais características operacionais, têm-se os seguintes parâmetros:

- Consumo de casca de arroz: 1.020 kg/h;
- Propriedades do vapor, conforme Tab. 3;
- Potência elétrica nos bornes do gerador: 196 kW,

A partir do cálculo da eficiência de cada equipamento é possível obter a eficiência elétrica global da MCT. Estes valores são apresentados na Tab. 4.

Devido à baixa eficiência da caldeira, principalmente pela baixa eficiência da combustão e ao fato de ainda não haver um superaquecedor, o vapor não se encontra nas condições ideais de operação, incluindo-se a vazão, conforme Tab. 2. Se forem feitos os ajustes pertinentes no gerador de vapor de forma que este atinja 86,9 % de eficiência, o vapor produzido estará satisfazendo todas as especificações do projeto, o que possibilitaria a geração máxima de potência elétrica, ou seja, os 280 kW instalados.

Tabela 3 - Propriedades do vapor nos equipamentos

	Pressão (kPa)	Temperatura (K)	Entalpia (kJ/kg)	Título (x)*
Entrada Caldeira	1570	323,15	210,6	N.A.**
Saída Caldeira	1570	473,55	2713,72	0,96
Entrada Turbina	1480	470,52	2672,37	0,94
Saída Turbina	98,06	379,72	2327,81	0,84

* Fração de vapor saturado seco no vapor úmido

**Não há título associado para água no estado líquido.

Tabela 4- Eficiências

Equipamentos	Caldeira	Tubulações	Turbina	Gerador	Sistema Turbo-gerador	Global
Eficiência (%)	66	98,5	7,82	94,0	7,35	4,77

Comparando-se os dados de eficiência global do sistema de geração de energia elétrica a partir das duas tecnologias locomóvel ($\eta=3,15\%$) e da turbina a vapor ($\eta=4,77\%$), verifica-se um aumento de aproximadamente 50% da segunda em relação à primeira.

Embora a caldeira possa gerar vapor nas condições de projeto, a MCT atingirá no máximo um rendimento elétrico global de 6,30%, muito abaixo do valor estimado no projeto que era de 15%.

A baixa eficiência não é característica exclusiva deste processo. Conforme verificado recentemente em outras pequenas centrais termelétricas, os processos de geração à biomassa em pequena escala possuem um rendimento demasiado pequeno. Por exemplo, pode-se citar a termoelétrica Hjordkaer, na Dinamarca. A potência nominal instalada nesta usina é de 600 kW, com vapor a uma pressão de 2,94 MPa (cerca de duas vezes a pressão do vapor da MCT de São Pedro do Sul) e superaquecido a 669,15 K (396°C). Entretanto, o rendimento elétrico desta planta não ultrapassa 8,9% (de acordo com The Danish Energy Agency's Follow-up Programme for Decentralised CHP on Solid Biofuels (2000). Matsumura (2005) cita que é de 7,0% a eficiência elétrica de uma MCT de 500 kW de potência elétrica instalada que utiliza casca de arroz na queima.

No caso da Doeler, a pressão do sistema não pode ser aumentada por questões construtivas dos equipamentos. Entretanto pode-se melhorar a qualidade do vapor, ou seja, para a mesma pressão atual de 1,57 MPa o vapor pode ser superaquecido, eliminando as gotículas de água inerentes ao vapor úmido, e aumentando a sua entalpia, o que proporcionaria um aumento da eficiência global de geração elétrica. Este melhor aproveitamento energético pode ser obtido com a instalação do superaquecedor.

A Tab. 5 apresenta os principais parâmetros avaliados pelo projeto, conforme o plano de trabalho e cronograma estabelecido anteriormente.

Tabela 5 - Resumo dos principais parâmetros avaliados.

Parâmetro	MCT - 280 kW
Potência elétrica líquida (kWe)	196
Eficiência elétrica líquida (%)	4,77
Investimento total (R\$)	312.959,00
Investimento específico (R\$/kW)	1.117,71
Custo de geração (R\$/kWh)	0,079
Fator de Capacidade	0,403

5.1 Análise Ambiental

Calcula-se que são depositadas em aterros, somente em São Pedro do Sul, 6.000 toneladas de casca de arroz por ano, o que implica em gasto com transporte para que os resíduos sejam depositados no solo, onde têm um período longo de decomposição, aproximadamente 5 anos. Na maioria dos engenhos de arroz, quase todo esse material tinha como destino as lavouras e o fundo de rios, num descarte prejudicial e criminoso. No caso da Doeler Alimentos, a casca vem sendo depositada em um aterro próximo ao engenho.

Outro fator importante é a diversificação da matriz energética do país, substituindo os combustíveis fósseis geradores de efeito estufa. A MCT instalada em São Pedro do Sul substitui parcialmente a eletricidade consumida pela empresa, disponível no sistema elétrico que apresenta geração térmica a partir de combustíveis como o gás natural e, especificamente na região sul, o carvão mineral, contribuindo para a redução das emissões de gases do efeito estufa. O cálculo das emissões foi feito com base nas seguintes metodologias fornecidas pela UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*):

- Metodologia I.D – *Grid connected renewable electricity generation*;
- Metodologia III.E – *Avoidance of methane production from biomass decay through controlled combustion*.

A primeira metodologia é usada para calcular a redução na emissão de gases de efeito estufa pelo fato de a Doeler Alimentos não mais utilizar toda a eletricidade proveniente da rede. O cálculo foi feito multiplicando-se a energia elétrica gerada pela MCT por um fator de emissão, obtido a partir de dados do SIN (2006), conforme mostra a Eq. (1):

$$BE_Y = EG_Y \cdot EF_Y \quad (1)$$

Onde:

BE_Y = Emissão evitada pela autoprodução de eletricidade (tCO₂);

EG_Y = Energia elétrica gerada pela MCT (MWh);

EF_Y = Fator de emissão (tCO₂/MWh), seu valor varia de acordo com o mês considerado, em média igual a 0,5659 (ano de 2006);

Y = Ano de referência.

O montante anual de emissões foi obtido pelo somatório do produto da energia mensal gerada pela MCT com o fator de emissão do respectivo mês. O total de emissões evitadas devido à geração extra de energia foi de 312,31 toneladas equivalentes de CO₂ por ano (ver Figura 3), cálculo este feito a partir dos fatores de emissão disponibilizados pela Comissão Interministerial sobre Mudanças Globais do Clima (CIMGC, 2006).

A metodologia III é utilizada para calcular a redução das emissões de gás metano pela decomposição da casca de arroz que, uma vez consumida na caldeira, não será depositada em aterros. A quantidade de metano mitigada é calculada a partir da Eq. (2):

$$BE_{CH_4,SWDS,Y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-K_j(Y-X)} \cdot (1 - e^{-K_j}) \quad (2)$$

Onde:

$BE_{CH_4,SWDS,Y}$ = Emissão de metano evitada, num determinado ano y , pela diminuição da deposição de casca de arroz durante o período de início da atividade até o ano y (tCO₂eq);

φ = Fator de correção (0,9);

f = Fração de metano retirado do local de depósito do resíduo sólido utilizada na queima ou em outra atividade;

- GWP_{CH_4} = Global Warming Potential (Potencial de perigo global) do metano, válido de acordo com o período considerado;
- OX = Fator de oxidação, reflete o montante de metano proveniente da casca de arroz queimada;
- F = Fração em volume de metano nos gases gerados a partir dos resíduos (0,5);
- DOC_f = Fração de carbono que pode ser decomposto;
- MCF = Fator de correção do metano;
- $W_{j,x}$ = Montante de resíduo orgânico j (ton);
- DOC_j = Fração (em peso) de carbono presente no resíduo j ;
- K_j = Taxa de decaimento para o resíduo tipo j ;
- X = Ano do período inicial de contagem das emissões, admite-se $x = 1$ para o primeiro ano, de forma que os valores de Y são calculados a partir deste;
- Y = Ano nos quais as emissões de metano foram calculadas.

Os valores de $\varphi=0,9$ e $F=0,5$ foram retirados de outro documento de UNFCCC (2007). O cálculo referente à emissão de metano forneceu uma redução de 6.003,01 toneladas equivalentes de CO_2 . Portanto, somando-se as duas parcelas, a mitigação total anual promovida pelo funcionamento da MCT é de 6.315,32 toneladas equivalentes de CO_2 .

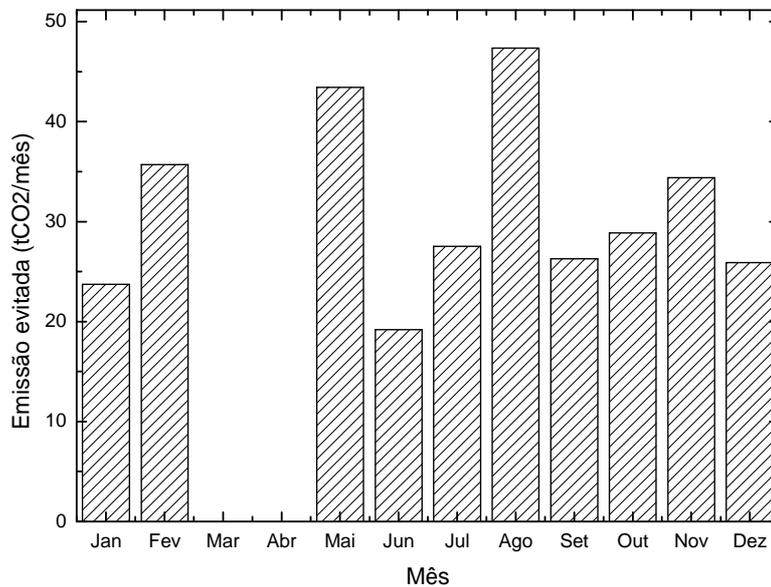


Figura 3 - Emissão evitada mensalmente pela diminuição do consumo da rede elétrica, em toneladas equivalentes de CO_2 .

Ainda na temática ambiental, deve-se considerar a grande produção de cinzas (18% do peso total de casca) proveniente da queima da casca de arroz, que é poluidora quando descartada no meio ambiente, pois gera certa quantidade de carbono residual na combustão. Fica evidente que seu aproveitamento adequado resultará em benefício ao processo de conservação ambiental. A utilização das cinzas será discutida no item Análise Econômica.

5.2 Análise Econômica

A análise da viabilidade econômica das instalações em São Pedro do Sul foi feita tomando como base o consumo de eletricidade do período de um ano, entre os meses de janeiro e dezembro de 2005, quando a MCT ainda não estava instalada. Analisando as faturas de energia elétrica deste período, calculou-se o consumo de energia em ponta e fora de ponta da indústria e o valor total da fatura.

A capacidade produtiva do engenho é de 93,4 s/h (sacas de 50 kg de arroz com casca) e a produção, somente de casca, é de 22,4 s/h, valor encontrado multiplicando-se a capacidade produtiva por 0,24, que é a porcentagem de casca de arroz no grão. A disponibilidade mensal de casca foi calculada multiplicando-se a produção horária de casca pelo número de horas trabalhadas em cada mês. Com os dados acima e, conhecendo a eficiência da conversão da instalação, determinou-se a potência útil e, conseqüentemente, a quantidade de energia que deixou de ser consumida da rede.

Uma comparação entre a demanda total de energia do engenho, ou seja, a energia fornecida pela queima da casca mais o consumo da rede elétrica convencional, e a energia gerada pela MCT (vide Fig. 4), não deixa dúvidas de que a MCT, nas atuais condições operacionais, não garante o suprimento para o engenho. Todavia, observa-se que houve um aumento da geração própria de energia de 14,1% para 64,4%, ou seja, um aumento em 50,3 pontos percentuais na auto-suficiência energética. Embora a MCT possa suprir toda a demanda no período entressafra, desde que se instale o superaquecedor na caldeira, elevando a eficiência da conversão, naturalmente, o contrato que a Doeler tem com a concessionária deve ser mantido, devido a possíveis problemas técnicos que podem ocorrer com os equipamentos, impossibilitando a autoprodução de energia.

Como apresentado no item Análise Ambiental, a quantificação das emissões evitadas (toneladas de CO₂ não emitidas) fazem com que estas passem a se constituir em mercadoria. Essa mercadoria ou Créditos por Redução de Emissões (CERs – Certified Emissions Reductions) podem ser negociadas no âmbito do MDL (ou Clean Development Mechanism – CDM), permitindo a compra deste volume de redução de emissões por países do chamado Anexo 1. Estas CERs não apresentam um valor fixo, mas admitindo-se US\$1,00 = R\$1,80, e considerado um valor de US\$7,00 por tonelada de CO₂ evitada, renderia ao projeto desta MCT o ingresso de aproximadamente R\$79.573,00 por ano, referente a comercialização de 6.315,32 tCO₂eq.

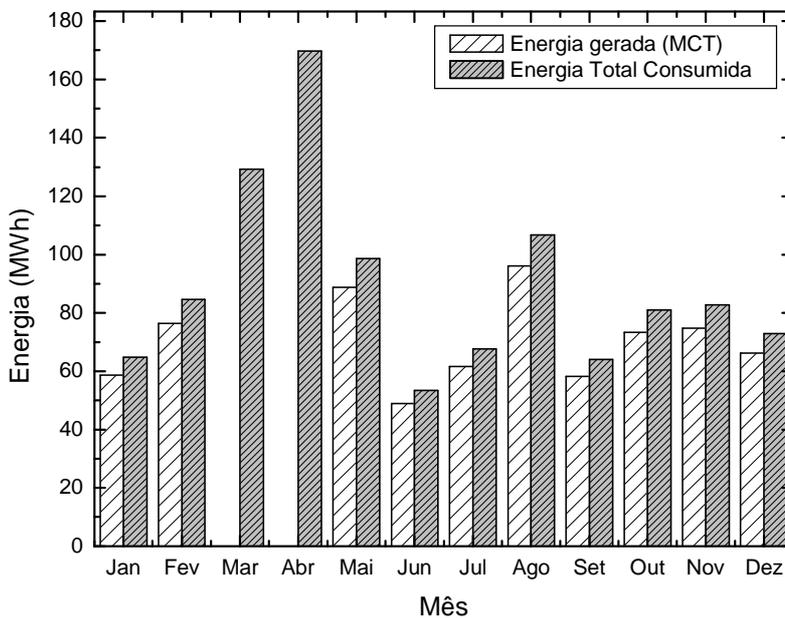


Figura 4 - Comparação entre a energia gerada pela MCT e o consumo total do engenho, no qual, além da energia fornecida pela micro central está incluso o valor fornecido pela rede elétrica convencional.

Para o cálculo dos indicadores de viabilidade econômica, adotou-se a alternativa de venda ou não de créditos de carbono. O investimento inicial foi de R\$ 312.959,00. No caso da venda de créditos, o valor dos créditos de carbono comercializado obteve-se os resultados seguintes: Taxa Interna de Retorno (TIR) foi 46,45% e um Tempo de Retorno de Capital (TRC) de 3 anos. Caso não se considere a comercialização de créditos de carbono, os valores obtidos são: TIR de 12,21% e um TRC de 6,3 anos.

Além do alto custo da eletricidade, outro fator que pode influenciar na viabilidade do projeto é a comercialização das cinzas produzidas pela MCT. Como a cinza contém alto teor de sílica (> 92%), isto a torna um resíduo valorizado. No entanto essa cinza só terá alto valor econômico se tiver alta qualidade, que é mensurada pela alta superfície específica, tamanho e pureza de partícula. Conseqüentemente, seria um grande desperdício de matéria-prima nobre jogá-la fora, podendo ser usada em vários ramos industriais, tais como eletrônica, construção civil, cerâmica, indústria química, fabricação de células fotovoltaicas, entre outros. Um grande número de usos para esses resíduos beneficiados têm sido citados na literatura (Houston, 1972). Estudos realizados na Universidade Federal de Santa Maria comprovam a utilização da casca na produção de cimento e uso em concreto, uso como adsorvente, uso como suporte de catalisadores metálicos, na síntese de zeólitas e na produção de diferentes tipos de silicatos. Foletto *et al.*, 2005, relataram ainda outros usos para as cinzas, como produção de carbetos de silício (SiC), produção de sílica pura e utilização de cinzas como carga em polímeros.

6. CONCLUSÃO

Devido a problemas técnicos na caldeira, acarretando baixo rendimento desse equipamento (66%), a MCT não atendeu o fornecimento de energia esperado, assim sendo, pelas características práticas da proposta da MCT, alguns fatores fugiram da expectativa inicial, como a potência alcançada e a eficiência elétrica líquida.

A potência alcançada pela MCT (196 kW) poderá ser ampliada com a instalação de um superaquecedor de vapor. Apesar de a eficiência alcançada (4,77%) estar abaixo do esperado, ela é cerca de 50% maior que a obtida com a utilização do locomóvel (3,15%), devido basicamente ao avanço tecnológico deste tipo de equipamento (turbina a vapor).

Os 196 kWh gerados pela MCT não eram suficientes para abastecer o consumo total do engenho (180 kW), pois os equipamentos da central de geração de energia elétrica (bombas, insufladores de ar, exaustor de gases, etc.) consomem para seu funcionamento aproximadamente 40 kWh.

Em Junho de 2007, a empresa Doeler Alimentos substituiu todos os equipamentos defasados do seu engenho por outros mais modernos e mais eficientes. Assim, tornou-se possível o abastecimento total do engenho pela MCT, apesar dela estar operando abaixo de sua capacidade nominal. Ou seja, ao contrário do que ocorria anteriormente, quando a MCT estiver funcionando não há necessidade de aquisição de energia da rede elétrica durante o período fora de safra.

Deve-se ressaltar que os valores de viabilidade econômica obtidos são extremamente interessantes do ponto de vista do investidor, principalmente quando se considera a entrada de recursos provenientes da comercialização de créditos de carbono.

Entretanto, o valor do investimento inicial considerado (R\$ 312.959,00) não abrange todos os custos envolvidos na instalação de uma MCT por empresas que não dispõem de caldeira para geração de vapor.

Como a empresa Doeler Alimentos já dispunha de uma caldeira e devido a limitações orçamentárias do projeto, ela foi escolhida como lugar para a instalação da MCT, e por este motivo, o valor do investimento considerado nos cálculos não compreende a aquisição de uma caldeira.

As universidades, com seu potencial de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, têm função primordial nessa atual situação sócio-econômica do país, através do desenvolvimento de novos equipamentos e na busca da otimização do processo de geração de energia a partir da biomassa.

Portanto, esta Micro Central Termelétrica oferece aos alunos e professores, uma real oportunidade de testarem e desenvolverem seus conhecimentos teóricos e práticos, sem deixar de lado os aspectos sociais e o trabalho de extensão junto à comunidade no seu entorno.

Pode-se afirmar que a geração própria de eletricidade a partir da biomassa propulsionará o desenvolvimento de tecnologias nacionais mais avançadas contribuindo assim para o crescente aperfeiçoamento na mudança da base tecnológica.

A implementação deste projeto representa um avanço na descentralização do desenvolvimento, já que a MCT foi implantada na metade sul do Rio Grande do Sul, reconhecidamente mais atrasada em relação ao resto do Estado, mas que é a maior região produtora de arroz do Brasil, representando a abertura de novas perspectivas econômicas para o desenvolvimento sustentável devido à valorização dos recursos energéticos renováveis disponíveis e de emissão nula de carbono.

REFERÊNCIAS

- CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, 1986. *Aproveitamento energético da casca de arroz*, relatório final do projeto de pesquisa CIENTEC-FINEP, Porto Alegre, 170 p.
- Coelho, Suani T.; Paletta, Carlos E. M.; Freitas, Marco A. V. (edits.) *Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica*, Brasília, 2000.
- Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) – Documentos de Concepção do Projeto aprovados nos termos da resolução nº 1 (<http://www.mct.gov.br/clima>), acessado em março de 2006.
- Danish Energy Agency, The Follow-up Programme for Decentralized CHP on solid biofuels – status for 2000, 15p., acessado em setembro de 2007.
- Foletto, E. L.; Hoffmann, R.; Hoffmann, R. S.; Portugal Jr., U. L. Jahn, S. L.; *Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz*, Química Nova, Vol. 28, nº. 6, 1055-1060, 2005.
- Hoffmann, Ronaldo. *Método avaliativo da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1 MWe, a partir da gestão dos resíduos de biomassa – O caso da casca de arroz*. Tese de doutorado PROMEC / UFRGS, Porto Alegre, 1999, 195p.
- Houston, D. F.; *Rice Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul: USA, 1972.
- Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), dados referentes à safra 2002/2003, acessado em fevereiro de 2006.
- Nogueira, Luiz Augusto Horta. *Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações*. 2º Ed. Interciência: Rio de Janeiro, 2003.
- Pretz, R., informação privada, agosto de 2005.
- Pretz, Ricardo; *Potencial bioenergético do setor arrozeiro do Rio Grande do Sul: uma abordagem termelétrica* Tese de Doutorado, PROMEC / UFRGS, Porto Alegre - RS, 2001, 102 p.
- Rosillo-Calle, Frank et al (organizadores). *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Editora da Unicamp: Campinas, 2005.

Sistema Interligado Nacional. Dados sobre fatores de emissão referentes à geração de energia elétrica, acessado em maio de 2006.

Matsumura, Y. et al. Amount, availability, and potential use of rice straw (agriculture residue) biomass as an energy resource in Japan. *Journal of Biomass and Bioenergy* N° 29, 347-354. 2005.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), *Grid connected renewable electricity generation*, acessado em março de 2007; *Avoidance of methane production from biomass decay through controlled combustion*, acessado em março de 2007.

USE OF RESIDUAL BIOMASS IN RICE MILL FOR GENERATION OF ENERGY IN A MICRO THERMAL POWER PLANT

Abstract. *In this study, is assessed the economic and environmental viability of a small scale thermoelectrical center, using rice husk to produce energy. The modular system used consists of a steam turbine supported by a chassis, which serves as a reservoir of lubricating oil, forming a group called Micro Thermal Power Plant (MTP). Its nominal power is 280 KW, which produced up to 110 KW in harvest period and 225 KW on interharvest. The production of energy showed minimal change in frequency, even when fluctuation occurred in the loading generator. In 2005, 6.540,00 tons of rice husk were processed by the MTP, which is deposited in a landfill near the system. The methane resulting from the burning of the husk was estimated in 186 tons per year or 6.003 tCO₂eq/year, the parcel due reduction consumption of energy constitute 312,31 tCO₂eq/year, the amount of gas that has ceased to be emitted annually was estimated in 6.315,32 tCO₂eq/year. The cost to purchase and install the modular system was around R\$ 380.000,00, however, the profitability of the project proved to be productive because it completely reached the energy consumption of the company in the period off-harvest. Moreover, there is a profit for the CER (by Credit Emission Reduction), which does not present a fixed value, but if considered US\$ 7.00 per ton of CO₂ avoided, would provide for the MCT the increase of incomes to this project of approximately US\$ 79.573,00 a year, concerning the marketing of carbon credits. It is emphasized the contribution of decentralized generation of electric energy to regional development and sustainable.*

Key words: *Micro Thermal Power Plant, Rice husk, Energy*