

Rubem Cesar Rodrigues Souza	Universidade Federal do Amazonas	rubem_souza@yahoo.com.br
Marcia Drumond Sardinha	Universidade Federal do Amazonas	drumond_marcia@yahoo.com.br
Benjamim Cordeiro Costa Junior	ELETROBRÁS - AMAZONAS ENERGIA	benjamim.junior@eletrobrasamazonasenergia.com
Fernando Cesar Rodrigues Souza		fernando.souza@inedes.org.br
Atlas Augusto Bacellar	Universidade Federal do Amazonas	abacellar@ufam.edu.br
Alessandro Bezerra Trindade		alessandro.trindade@inedes.org.br
Betsy Eddy Praia Morais		betsy.morais@inedes.org.br

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM ETANOL DE MANDIOCA (Manihot sculenta Crantz) NO ESTADO DO AMAZONAS

Palavras-chave

Estado do Amazonas

etanol

geração de eletricidade

mandioca

Resumo

O presente artigo apresenta os resultados obtidos no âmbito do projeto de P&D intitulado “Geração de Energia Elétrica com Etanol de Mandioca no Estado do Amazonas”, desenvolvido pelo Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável - INEDES em parceria com o Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico - CDEAM da Universidade Federal do Amazonas, sob os auspícios da Eletrobras Amazonas Distribuidora de Energia S/A no âmbito da carteira ANEEL de projetos de P&D. O projeto possibilitou avaliar a viabilidade técnica, econômica e legal da produção e uso de etanol de mandioca para geração de energia elétrica no estado do Amazonas. Os resultados são auspiciosos seja no tocante a produção de etanol de mandioca, seja quanto a geração de eletricidade.

1. Introdução

Após dez anos de existência do Programa Luz para Todos, seus objetivos no cenário do Estado do Amazonas ainda estão longe de serem alcançados, seja o da universalização do serviço de energia elétrica, seja o da inclusão social, ou seja, geração de emprego e renda. Mesmo nos locais onde o serviço de energia elétrica foi viabilizado, não se percebe dinamismo na atividade econômica local, confirmando que a energia elétrica, por si só, não é suficiente para promover

desenvolvimento. Dentre outros fatores se observa que as tecnologias utilizadas para eletrificação, ou seja, a extensão da rede elétrica e a geração a óleo diesel, possuem cadeias produtivas com baixo impacto na economia local quando comparada com tecnologias que fazem uso de biomassa local. Há que se observar que a taxa de inadimplência verificada nos primeiros anos do Programa caiu sensivelmente. No entanto, tal queda não pode ser repulhada a agregação de renda aos consumidores e sim à adoção da cobrança do serviço por intermédio de taxa, o que leva a insustentabilidade econômica.

Atenta a essa problemática, bem como a sua missão institucional, qual seja: Atuar nos mercados de energia de forma integrada, rentável e sustentável; a Eletrobras Amazonas Distribuidora de Energia S/A, decidiu incluir em sua carteira de projetos de P&D o projeto intitulado “Geração de Energia Elétrica com Etanol de Mandioca no Amazonas” proposto pelo Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável – INEDES, o qual se propunha a avaliar a viabilidade técnica, econômica e legal para a produção de etanol de mandioca e seu uso para geração de eletricidade no estado do Amazonas, sendo os resultados apresentados no presente artigo.

2. Desenvolvimento

Procedimento metodológico para desenvolvimento do projeto de P&D

O desenvolvimento do projeto seguiu três linhas mestras. A primeira consistiu no domínio tecnológico de produção de etanol de mandioca, valendo-se de cultivares desenvolvidas para ecossistemas amazônicos. Para tal seriam necessárias as seguintes providências: i) contratar consultor especializado em cultivo de mandioca em ecossistema amazônico brasileiro; ii) implantar uma unidade de produção de etanol, contemplando desde a etapa de lavagem da matéria prima até a produção de etanol, com suporte de infraestrutura laboratorial local para acompanhamento *pari passu* dos experimentos; o que foi feito nas Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, no km 38 da BR 174 (Manaus-Boa Vista); iii) dispor de infraestrutura laboratorial para desenvolver experimentos com a perspectiva de otimizar as diferentes etapas do processo de produção de etanol de mandioca, sendo viabilizado com a inclusão de docentes da UFAM bem como os laboratórios da área de biotecnologia; iv) dispor de solução para viabilizar as análises físico químicas do etanol produzido para assegurar que o mesmo atendia as recomendações da ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; sendo essa questão resolvida pela inclusão de docentes da UFAM que atuam no laboratório LAPEC – Laboratório de Pesquisa e Ensaio de Combustíveis, pertencente a rede nacional de controle de qualidade de combustível, gerida pela ANP.

A segunda frente de pesquisa consistiu em viabilizar o acompanhamento do desempenho de motogeradores a etanol. Na ocasião, ano de 2010, somente estava disponível no mercado brasileiro, a tecnologia de moto geradores a etanol desenvolvida pela empresa Vale Soluções em Energia – VSE com capacidade nominal de 250 kW e ainda não testada em regime de carga modulada em rede de distribuição. Considerando o porte do equipamento e, portanto, a necessidade de infraestrutura de produção de etanol de mandioca com grande impacto econômico no projeto, decidiu-se por realizar os testes com etanol disponível no mercado, ou seja, proveniente de cana-de-açúcar. Vale ressaltar que o entendimento é que, desde que o etanol de mandioca atendesse as especificações da ANP as máquinas teriam o mesmo comportamento apresentado quando operando com etanol de cana.

A terceira frente de pesquisa residiu na busca de elementos legais motivadores e inibidores, seja para a produção de etanol de mandioca na região, seja para o uso de etanol para geração de energia elétrica. Portanto, decidiu-se por avaliar a legislação da ANP, ANEEL e também a de caráter ambiental.

Produção de mandioca

Foram selecionadas quatro cultivares de mandioca sendo as mesmas plantadas na Fazenda Experimental da UFAM. A seleção dos cultivares se baseou no conhecimento produzido pela Embrapa Ocidental, valendo-se do material disponível em seu banco de germoplasma.

Todas as etapas do processo de produção foram devidamente acompanhadas, quais sejam: preparo do solo; calagem (correção da acidez do solo com calcário); preparação das manivas sementes; abertura de covas; plantio; capina e; combate às pragas.

A produtividade variou entre as cultivares de 18 a 25 ton/ha corresponde a um ciclo, ou seja, com 12 meses de cultivo. É mister frisar que de acordo com SEPLAN (2011), a produção de mandioca no estado do Amazonas em 2009 foi de 995.876 toneladas para uma área plantada de 97.393 ha, com rendimento médio de 10,22 toneladas por hectare, em face do uso de técnica de cultivo tradicional e plantio de variedades não melhoradas geneticamente. De acordo com dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a produtividade média brasileira nos últimos dez anos foi da ordem de 13,8 ton/ha sendo que a maior (14,52 ton/ha) foi registrada no ano de 2011. No cenário internacional, conforme dados da FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, a Indonésia é detentora da maior produtividade histórica (20,30 ton/ha) registrada no ano de 2011.

A concentração de amido total (solúvel e insolúvel) contido na raiz, fator primordial para a produção de etanol, variou de 69,30% a 76,30%. É importante registrar que a maior concentração de amido ocorreu na cultivar que apresentou maior produtividade.

Observando a composição do custo de produção de mandioca constatou-se que os mais significativos ocorrem na etapa de calagem (35%) devido ao custo do calcário; na etapa de plantio (29%) e na etapa de manutenção (15%), contribuindo de forma significativa o custo com mão de obra, e; 13% referente a aquisição de manivas.

Deve-se observar que o custo com maniva, a partir do segundo plantio, será reduzido substancialmente ou até eliminado, considerando que para cada hectare é possível dispor de manivas sementes para 4 a 5 novos hectares. É mister registrar que recentemente a EMBRAPA Ocidental desenvolveu uma técnica que aumenta em 160 vezes esse potencial de replicação. Assim, é possível dispor em pouco tempo de material para reprodução em larga escala das cultivares mais apropriadas para a região.

Outro fato importante consiste na inauguração da primeira fábrica de beneficiamento de calcário dolomítico (uso agrícola) do Amazonas, ocorrido em março de 2014. Esse empreendimento, localizado no município de Manacapuru, possibilitará que o produto tenha seu preço reduzido em 70% com relação ao importado dos Estados do Ceará, Rondônia e Mato Grosso. Para esse percentual de redução contribuiu a isenção da alíquota do ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços. A capacidade de produção da fábrica é de 400 toneladas por dia, no entanto, a jazida que fica no município de Uruará tem capacidade para deixar o estado autosuficiente na produção desse calcário.

É importante ressaltar que a produção no âmbito do projeto foi levada a efeito com pouca mecanização, porém, os resultados podem ser mais promissores com o uso de mecanização nas etapas de plantio e colheita, uma vez que o Brasil possui tecnologia para tal, assim será possível aumentar a produtividade e reduzir custos.

Produção de etanol de mandioca

De maneira simplificada a produção de etanol de mandioca consiste em duas etapas, quais sejam: i) quebra da molécula de amido em sacarose, e; ii) quebra da molécula de sacarose originando o etanol. Esse processo pode, entretanto, ser levado a efeito via a rota a frio, quando participa do processo o amido solúvel contido na raiz (aproximadamente 30 % do amido disponível na raiz) e a rota à quente participando do processo tanto o amido solúvel quanto o insolúvel. Evidentemente que na rota à quente há um custo energético que deverá ser cotejado com a maior disponibilidade de amido e, portanto, maior produção de etanol. No projeto em tela, a rota adotada foi a fria.

A partir dos testes laboratoriais foi possível definir os tipos e as quantidades ótimas de enzimas e leveduras, bem como reduzir o tempo de fermentação de 80 para 48 horas.

Foram identificados fatores importantes no processo, tais como: granulometria da mandioca triturada; acidez e condutividade elétrica da água utilizada no processo, e; presença de ácido cianídrico quando da atuação da levedura.

O rendimento de 126 a 135,7 litros por tonelada de mandioca. É oportuno salientar que fatores como a falta de prática da equipe de pesquisadores na operação da destilaria contribuiu para esse resultado, uma vez que a literatura indica ser possível obter rendimento de 150 a 200 litros por tonelada de mandioca.

Para as condições do projeto de P&D o custo do etanol ficou em R\$ 3,325/litro.

Apresenta-se na Figura 1 a participação percentual de cada parâmetro que incide sobre o preço do etanol da mandioca.

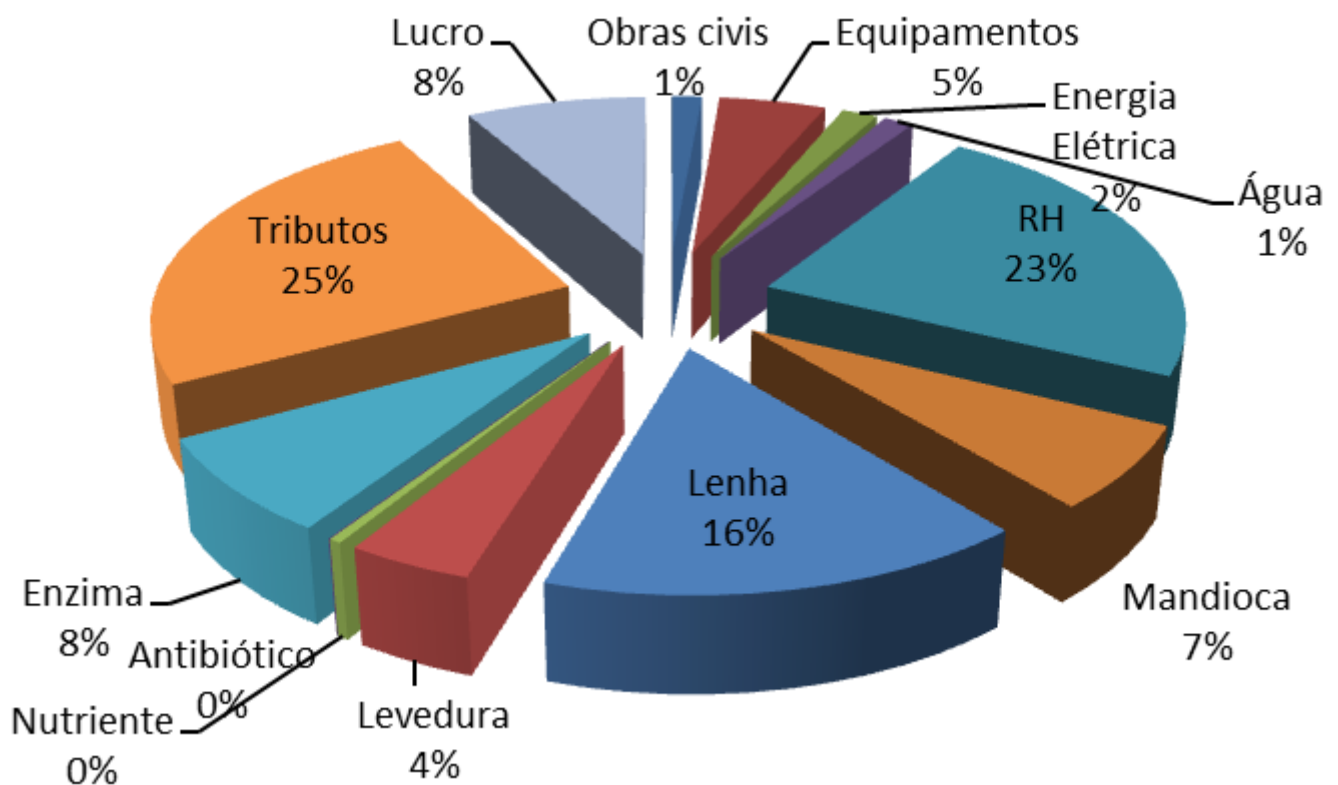


Figura 1. Distribuição percentual dos parâmetros que incidem sobre o preço do etanol de mandioca.

A figura 1 permite observar os fatores que mais impactam no preço sobre os quais cabe as seguintes considerações:

- **Custo da lenha:** esse custo pode ser reduzido caso seja implantada floresta energética, valendo-se dos resultados de pesquisa realizada pela EMBRAPA Ocidental, que identificou espécies lenhosas apropriadas ao uso energético adaptadas ao ambiente amazônico.
- **Custo da mandioca:** a adoção da mecanização e redução do custo com calcário seja pela redução de preço seja pelo fato do vinhoto proveniente do processo poder ser usado na área do plantio, podem contribuir para redução do custo com a mandioca.
- **Rendimento:** as melhorias passíveis de serem implementadas no processo podem aumentar o rendimento.
- **Custo com enzimas, leveduras e etc:** os custos adotados nos resultados apresentados foram os efetivamente praticados no âmbito do projeto, portanto, a compra em maiores quantidades levariam a redução de custo.
- **Custo da água:** entende-se que poderia haver uma redução até renúncia, por parte do governo municipal e estadual, no tocante a tarifa de água.
- **Custo das obras civis:** O projeto arquitetônico levado a efeito no projeto de P&D pode ser modificado, uma vez que a área de produção pode ser em grande parte desprovida de paredes, portanto, a modificação do projeto arquitetônico também contribuirá positivamente para a redução de custos.
- **Tributos:** A carga tributária, particularmente o ICMS, da ordem de 25%, poderia sofrer redução, no âmbito de uma política estadual de desenvolvimento da cadeia produtiva do etanol de mandioca.

Na Tabela 1 consta uma estimativa percentual da redução de cada um dos parâmetros de custo a luz das considerações apresentadas.

Tabela 1. Medidas passíveis de serem adotadas e seus impactos no custo.

FATOR	MEDIDA PARA REDUZIR O CUSTO	POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CUSTO
Custo da lenha	Plantio energético	50%
Custo da mandioca	Mecanização e uso do vinhoto no plantio	10%

Rendimento (L/ton)	Melhora do processo	5%
Custo da enzima, levedura e etc	Comprar em maior quantidade	10%
Custo da água	Isenção do pagamento	100%
Custo da obra civil	Modificação no projeto arquitetônico	20%
Tributos	Redução da alíquota do ICMS	13%

Admitindo os impactos das medidas constantes da Tabela 1, o novo valor para o preço do etanol de mandioca seria de **R\$ 2,457/litro**^[1].

O preço médio do etanol comercializado no município de Manaus-AM no mês de agosto de 2013 foi de R\$ 2,43/litro, enquanto no município de Itacoatiara no mesmo período o preço foi de R\$ 2,79/litro.

Vale ressaltar que no dia 06 de agosto de 2013, a concessionária pagou pelo etanol entregue na termelétrica de Lindóia, em Itacoatiara, o valor de **R\$ 2,3006/litro**.

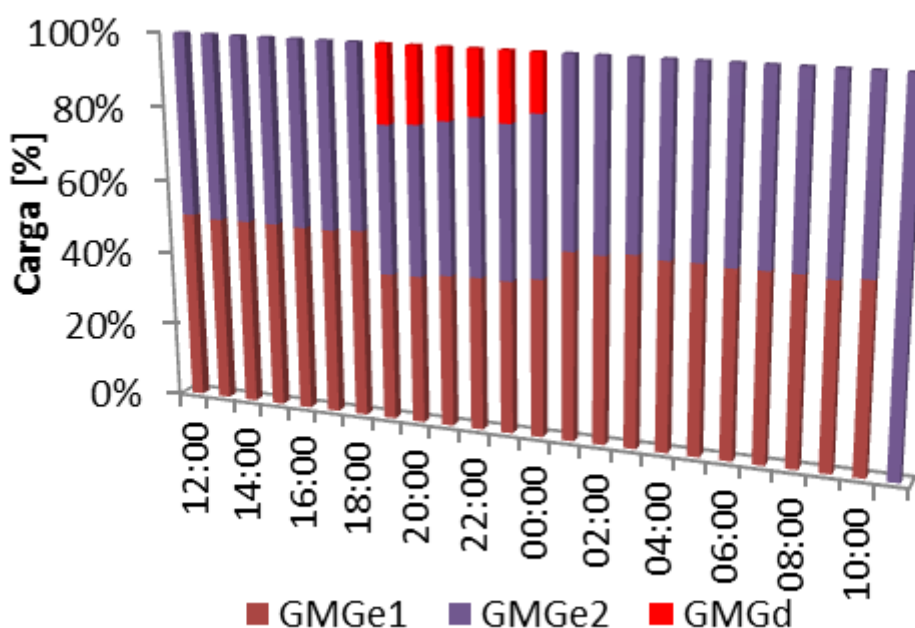
Geração de energia elétrica com etanol

Para avaliar a geração de energia elétrica com etanol foram instalados dois moto geradores a etanol de 250 kW cada, trifásicos. Para instalação desses equipamentos foi realizada a expansão da termelétrica a óleo diesel existente na localidade de Lindóia no município de Itacoatiara. A comunidade em setembro de 2013 possui 1.107 unidades consumidoras, a demanda máxima registrada foi de 540 kW no ano de 2012 durante as obras da Linha de Transmissão Tucuruí-Manaus. A potência efetiva das máquinas diesel era a seguinte: 2 x 500 kW; 2 x130 kW, e; 1x100 kW.

Para abastecimento das máquinas a etanol foi instalado um sistema de tancagem com capacidade de 60.000 litros. Também foi implementada a expansão da subestação instalando-se transformadores dedicados para cada máquina a etanol.

As máquinas a etanol foram dotadas de um sistema supervisorío com acesso via web capaz de monitorar 46 variáveis.

No dia 5 de setembro de 2013 às 11:30h as máquinas a etanol passaram a funcionar na base do sistema. Na figura 2, verifica-se a distribuição de carga entre os geradores entre os dias 5 e 6 de setembro de 2013.



Legenda: GMGe1,2: máquina a etanol 1 e 2. GMGd: máquina a diesel.

Figura 2. Distribuição da carga de Lindóia entre as máquinas a etanol e a diesel.

Verificou-se que as variações de carga são absorvidas sem perda de qualidade da energia gerada. O consumo específico médio das máquinas a etanol é da ordem de 0,51 l/kWh.

Merece registro o fato das máquinas a etanol apresentarem um step de carga na partida da ordem de 40% de sua potência nominal, enquanto nas máquinas diesel o step é da ordem de 90%.

Consta da tabela 2, o resultado da simulação do custo de geração a etanol em diversos cenários, onde assumiu-se o consumo específico variando entre 0,51 l/kWh, valor verificado para as máquinas a etanol instaladas em Lindóia e, 0,6 l/kWh, informado por fabricantes de grupos geradores a etanol de menor porte disponíveis no mercado brasileiro [2]. Os cenários contemplaram também a sub rogação da CCC, assumindo-se que tal subsídio não se aplique e também que seja aplicado com redução de 53% do custo de capital.

Tabela 2. Custo de geração (R\$/MWh) com etanol em vários cenários.

Sem Sub rogação da CCC

Com sub rogação da CCC (50%)

Sem Sub rogação da CCC

Com sub rogação da CCC (50%)

Etanol: R\$ 3,294/L

Etanol: R\$ 2,457/L

CE (l/kWh)		CE (l/kWh)		CE (l/kWh)		CE (l/kWh)	
0,51	0,6	0,51	0,6	0,51	0,6	0,51	0,6
1.859,87	2.155,97	1.836,19	2.132,29	1.435,04	1.656,17	1.411,36	1.632,49

Para os valores constantes da Tabela 2 utilizou-se a WACC de 9,95%.

A experiência recente de geração distribuída no estado do Amazonas foi levada a efeito com sistemas fotovoltaicas em 12 mini usinas. O custo de geração verificado para essa experiência foi da ordem de R\$ 3.301,76/MWh, portanto, aproximadamente 34% superior ao maior valor verificado para a simulação com geração a etanol de mandioca.

Questões legais

Constatou-se não haver óbice legal seja para a produção de etanol de mandioca, seja para o uso deste insumo para geração de eletricidade. Por outro lado, identificou-se incentivos como a sub-rogação da CCC - Conta de Consumo de Combustível e redução das tarifas de uso do sistema de transmissão e distribuição (50%).

Do ponto de vista ambiental necessário se faz que seja destinado adequadamente o vinhoto proveniente do processo de produção de etanol. Entretanto, estudos indicam que o mesmo pode ser usado para: fabricação de adubo, pesticidas, vinagres, sabão e também para produção de biogás.

É mister registrar que dada a inexistência de empreendimentos dessa natureza no estado do Amazonas, ou órgãos ambientais terão que se qualificarem para fazer cumprir a legislação.

[1] Esse valor foi obtido considerando a produtividade de 22 ton/ha e o rendimento de 120 litros de etanol por tonelada de mandioca.

[2] Quando da concepção do projeto, no ano de 2010, essas máquinas não estavam disponíveis no mercado.

3. Conclusões

A pesquisa possibilitou levantar vários elementos facilitadores para a produção e uso de etanol de mandioca no estado do Amazonas, quais sejam:

- **Existência de linhas de crédito.** Há linhas de créditos, tais como PRONAF (individual e coletivo); no Banco do Brasil e BNDES; capazes de alavancar os diferentes elos da cadeia produtiva.
- **A cana-de-açúcar não compete com a mandioca.** A partir da decisão do Governo Federal de não permitir a ampliação da área plantada de cana-de-açúcar na Amazônia, esta cultura deixou de competir com qualquer outra na produção de etanol na região.
- **Elevado custo de logística para os combustíveis fósseis.** As longas distâncias da região amazônica, impõe custos elevados para o transporte de combustíveis fósseis, fazendo com que a produção local de combustível se mostre competitiva, como é o caso do etanol de mandioca.
- **Menor risco de desabastecimento.** A produção local de etanol reduz o risco de desabastecimento, historicamente vivenciado anualmente na região, face a vazante dos rios.
- **Potencial de geração de emprego e renda.** A cadeia produtiva de etanol de mandioca possui grande potencial de geração de emprego e renda, o que implica em redução da inadimplência no pagamento das faturas de energia elétrica.
- **Incentivos para atração de indústrias.** A Zona Franca de Manaus possui incentivos capazes de atrair indústrias pertinentes a cadeia produtiva de etanol de mandioca, reduzindo os custos de produção e alinhando o perfil da indústria local com a região.
- **Diversidade de uso da mandioca.** Além das raízes, a planta da mandioca possui interesse de várias outras indústrias, tais como: ração animal; indústria de cosméticos e etc.
- **Disponibilidade de fabricantes brasileiros de geradores a etanol:** além da empresa Vale Soluções em Energia – VSE, que fabrica máquinas de 250 kW; nos últimos três anos surgiram outros fabricantes que oferecem equipamentos de menor porte tanto para uso emergencial quanto para funcionamento em regime contínuo.
- **Grande mercado para o etanol:** o etanol pode ser utilizado não somente para geração de energia elétrica mais também para transporte e cocção de alimentos.
- **Existência de outras culturas com potencial para o etanol.** Existem outras culturas nativas da Amazônia com grande potencial de produção de etanol, tal como a mandiocaba. Essa variedade de mandioca, também conhecida como mandioca doce, possui 35% de glicose contra 12% da cana-de-açúcar. Assim, o custo energético fica reduzido em aproximadamente 40% com relação aos custos atuais, uma vez que não há a necessidade de enzimas para converter o amido em glicose.

Em que pese todos os elementos favoráveis não é possível pensar que a solução proposta está pronta para ser implementada. É necessário, a exemplo do que ocorreu com o etanol de cana-de-açúcar, que um conjunto de políticas tanto agrícola, educacional, industrial e de desenvolvimento tecnológico, sejam levadas a efeito para que essa oportunidade seja aproveitada.

É necessário portanto, que o planejamento do setor energético brasileiro, deixe de olhar somente para os grandes

potenciais hídricos da Amazônia como solução para o problema energético das regiões desenvolvidas e lance seu olhar também para oportunidades energéticas com “raiz” na região capaz de elevar um grande contingente populacional, pelo menos a categoria de cidadãos com perspectivas reais de evolução sócioeconômica.

4. Referências bibliográficas

<http://www.fao.org>. br acessada em janeiro de 2014.

SEPLAN - SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DO AMAZONAS, “Anuário Estatístico 2009/2010”, Manaus-AM, 2010.

1 : Esse valor foi obtido considerando a produtividade de 22 ton/ha e o rendimento de 120 litros de etanol por tonelada de mandioca.

2 : Quando da concepção do projeto, no ano de 2010, essas máquinas não estavam disponíveis no mercado