



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Contabilização de Créditos de Carbono na Produção de Hidrogênio através da Energia Vertida Turbinável de Itaipu

Diego A. Bittner Copano^{1,2}, Romeu Reginato², Marcelo Miguel¹

¹Itaipu Binacional – ENEE.DT / ²Universidade Estadual do Oeste do Paraná - CECE

Brasil

RESUMO

A utilização de recursos não renováveis, como petróleo e carvão, acarreta sérios problemas ao meio ambiente. Para evitar esta degradação, é necessário que o ciclo entre o meio ambiente, o homem e a energia, que ele retira do meio, seja feito de uma forma harmônica. Com a necessidade de conciliar o crescimento social, produzindo mais energia e sem agredir o meio ambiente, é necessário um intenso investimento em energias alternativas. Neste contexto, o hidrogênio tem se destacado como um combustível perfeito, pois não polui e pode ser produzido a partir de outras energias renováveis. Quando o hidrogênio é queimado, o produto resultante é água. A eletrólise da água pode ser um processo totalmente limpo para a produção do hidrogênio, se for utilizada, como energia primária, uma fonte renovável, como a energia solar, eólica e hidráulica. Em usinas hidrelétricas, em épocas chuvosas, existe uma energia excedente que não é utilizada pelo mercado, sendo desperdiçada pelo vertedouro. Esta energia, denominada energia vertida turbinável, poderia produzir hidrogênio eletrolítico a preços menores do que outros processos de obtenção de hidrogênio. Este trabalho visa o cálculo de créditos de carbono com o aproveitamento da energia excedente na Usina de Itaipu para a produção de hidrogênio por eletrólise. Isto é feito com os fatores de redução de CO₂ devido à utilização da energia vertida turbinável, utilizando a metodologia consolidada de linha de base ACM0002. Mostra, também, a influência das emissões de gases de efeito estufa no reservatório de Itaipu no cálculo dos créditos de carbono.

PALAVRAS CHAVES

HIDROGÊNIO, ENERGIA VERTIDA TURBINÁVEL, CRÉDITOS DE CARBONO, MDL.



1. INTRODUÇÃO

No processo eletrólise necessita-se de uma energia primária para produzir hidrogênio. Como a energia elétrica não pode ser estocada, uma alternativa é utilizar seu excedente em usinas hidrelétricas para a produção de hidrogênio. Assim, o hidrogênio é usado como um “vetor energético”, armazenando a energia e utilizá-la posteriormente [Gomes Neto 2005].

Aproveitando o processo de produção de hidrogênio em usinas, é possível efetivar um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial. Por convecção, cada tonelada de CO₂ equivalente é um crédito de carbono. O crédito de carbono do MDL, após passar pelas etapas de aprovação do ciclo MDL, é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE).

Em termos de reduções de emissões projetadas, o Brasil ocupa a terceira posição. Aproximadamente, 63% dos projetos MDL no Brasil são de geração elétrica [CQNUMC 2008]. Alguns exemplos, de acordo com os projetos registrados no MDL, tem-se a pequena hidrelétrica pertence à Pesqueiro Energia SA. Interligada, a produtora independente de energia, que comercializou cerca de 42 mil toneladas de carbono. A Hidrelétrica Aquarius conseguiu uma redução de emissão em aproximadamente 14 mil toneladas de CO₂. A ARAPUtanga Centrais Elétricas contabilizou 107 mil toneladas de CO₂.

1.1 Objetivo

Este trabalho objetiva contabilizar os créditos de carbono que poderiam ser emitidos no processo de produção de hidrogênio eletrolítico através da energia vertida na Usina Hidrelétrica de Itaipu, utilizando os dados da energia excedente no período de 2006. Será utilizada a metodologia consolidada de linha de base ACM0002, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL. Esta metodologia é para a geração de eletricidade conectada à rede a partir de fontes renováveis. Irá se calcular também as emissões de gases de efeito estufa no reservatório de Itaipu e a sua contribuição para a contabilização dos créditos de carbono.

2. PLANTA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO DE ITAIPU

A Usina de Itaipu é uma usina hidrelétrica do tipo “a fio d’água” e seu reservatório tem capacidade de regulação de cerca de uma semana apenas. Dessa forma, caso a vazão afluente seja maior que a vazão necessária para a produção de energia requerida pelo mercado, existe muito pouco espaço para armazená-la e provavelmente essa vazão excedente será vertida. Esta energia é denominada *energia vertida turbinável* e ela poderia ser utilizada para produzir hidrogênio através da eletrólise a custos mais baratos do que com outros métodos de produção [Santos Júnior 2004].

Desde 2003, a Itaipu estuda a possibilidade de produção de hidrogênio a partir da eletrólise da água. O estudo é a base para o desenvolvimento de um combustível limpo, com emissão zero de gases do efeito estufa, como é o caso dos projetos MDL.

A seguir são apresentados os dados relativos à disponibilidade de excedente de energia para a contabilização de créditos de carbono. A Tabela 1 mostra a energia disponível, energia gerada e energia vertida mensalmente no período de 2006.



	Energia Disponible (MWh)	Energia Gerada (MWh)	Energia Vertida (MWh)	% Energia Vertida
Janeiro	8.833.007	8.249.708	583.299	6,60363
Fevereiro	7.677.421	7.315.457	361.964	4,71466
Março	9.055.645	7.900.773	1.154.872	12,7531
Abril	8.745.481	7.595.497	1.149.984	13,1495
Mai	7.823.678	7.788.148	35.530	0,45413
Junho	7.562.782	7.562.451	331	0,00438
Julho	7.925.117	7.925.117	0	0
Agosto	7.860.052	7.860.052	0	0
Setembro	7.512.840	7.433.330	79.510	1,05832
Outubro	7.620.472	7.611.932	8.540	0,11207
Novembro	7.572.787	7.572.787	0	0
Dezembro	8.138.063	7.874.684	263.379	3,23638
Total	96.327.346	92.689.936	3.637.410	3,77609

Tabela 1. Energia Disponible, Energia Gerada e Energia Vertida na Usina de Itaipu em 2006.
Fonte: Itaipu Binacional

Considerando um eletrolisador da empresa Norsk Hydro [5], para 1 Nm³ de hidrogênio é necessário um consumo de 4,8 kWh. Como em 2006, a energia excedente total na Usina de Itaipu foi de 3.637.410 MWh, então poderiam ter sido produzidos aproximadamente 757.800.000 Nm³ de hidrogênio. Como 1 Nm³ de hidrogênio corresponde a 0,08988 kg, logo seriam produzidos 68.111,064 toneladas de hidrogênio.

3. METODOLOGIA PARA A CONTABILIZAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Como já mencionado, o cálculo de carbono na produção de hidrogênio na Usina de Itaipu se baseará na metodologia de linha de base aprovada ACM0002 (Approved Consolidated baseline

Diego Alfonso Bittner Copano – diegobittner@gmail.com



Methodology 0002). Neste trabalho não se fará a comparação da produção de hidrogênio com outras fontes de energia não renováveis.

A metodologia ACM0002 tem por objetivo orientar a determinação da linha de base, para o cálculo de créditos de carbono, de projetos que geram energia elétrica a partir de fontes renováveis e que estejam conectados à rede básica do país anfitrião. O crédito de carbono é gerado pela “substituição de uma termelétrica” na rede que seria usado se não fosse pela usina hidrelétrica.

De forma geral, pela metodologia ACM0002, as reduções de emissão de CO₂ de um projeto são calculadas multiplicando-se a energia líquida fornecida pela atividade do projeto para a rede interligada pelo fator de emissão da linha de base. Essa emissão de linha de base é calculada como uma margem combinada (CM), que compreende dois componentes: a “margem de construção (BM)” e a “margem de operação (OM)”. A margem de construção visa avaliar a contribuição das usinas que seriam construídas caso o projeto não existisse. A margem de operação visa avaliar a contribuição das usinas que seriam despachadas na ausência da geração do projeto.

Na ACM0002, o fator de emissão de cada usina existente no sistema é calculado anualmente, a partir dos valores de geração e consumo de combustíveis da usina do ano anterior. Os fatores de emissão de CO₂, margem de construção e margem de operação, resultantes da geração de energia elétrica verificada no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, em especial, nas usinas termelétricas [2]. O Ministério de Ciência e Tecnologia disponibiliza estes fatores calculados. Como a Itaipu está interligada ao SIN, então estes fatores se aplicam a ela.

1.1 Cálculo dos fatores de emissão da margem de operação pela metodologia ACM002

O fator de emissão da margem de operação ($EF_{OM,y}$) é a média ponderada das emissões (em tCO₂/MWh) de todas as fontes de geração que atendem ao sistema, excluindo a geração hídrica, geotérmica, eólica, biomassa de baixo custo, nuclear e a solar. Utilizando a notação da metodologia aprovada, ACM0002,

1.2 Cálculo do fator de emissão da margem de construção pela metodologia ACM002

O fator de emissão da margem de construção ($EF_{BM,y}$) é a média ponderada das emissões (em tCO₂/MWh) de recentes adições de capacidade ao sistema. Essa média é calculada com base em 20% do total anual (em MWh) da geração realizada pelas mais recentes usinas, ou com base na geração anual total das cinco mais recentes usinas construídas. Utiliza-se a base que representar a maior geração.

1.3 Cálculo do fator de emissão da linha de base pela metodologia ACM002

O fator de emissão da linha de base EF_y é calculado como a média ponderada do fator de emissão da margem de operação e do fator de emissão da margem de construção. Os pesos, por padrão, são 0,5 para a $EF_{OM,y}$ e 0,5 para a $EF_{BM,y}$.BM [MCT e MME 2006].

$$EF_y = 0,5.EF_{OM,y} + 0,5.EF_{BM,y} \quad (1)$$



As reduções nas emissões via atividade do projeto (ER_y) durante um determinado ano y , são o produto do fator de emissões da linha de base (EF_y , em tCO_2e/MWh) multiplicado pela eletricidade fornecida pelo projeto à rede (EG_y , em MWh).

$$ER_y = EF_y \cdot EG_y \quad (2)$$

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO CASO DA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NA ITAIPU

Para o cálculo das reduções do processo de produção de hidrogênio na Itaipu, utilizam-se os dados obtidos no Ministério de Ciência e Tecnologia.

O fator de emissão margem de operação anual é calculado como a média aritmética do fator de emissão médio mensal: [MCT e MME 2006]

$$EF_{OM,2006} = 0,323233 \text{ tCO}_2/MWh$$

O fator de emissão da margem de construção do ano 2006 é calculado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, e é dado por :

$$EF_{BM,2006} = 0,0814 \text{ tCO}_2/MWh$$

Através de (4), com os dados de fator de emissão da margem de operação e da margem de construção, calcula-se o fator de emissão de linha de base:

$$EF_{2006} = 0,2023165 \text{ tCO}_2/MWh$$

Então, com (5), para o cálculo de reduções nas emissões do projeto seria de:

$$ER_{2006} = 0,2023165 \cdot EG_{2006}$$

Neste caso, a eletricidade fornecida pelo projeto à rede será a da energia vertida para a produção de hidrogênio. Em 2006, a energia excedente total na Usina de Itaipu foi de 3.637.410 MWh , que poderia ter sido utilizada para a produção de hidrogênio, ou seja:

$$EG_{2006} = EG_{vertida,2006} = 3.637.410 \text{ MWh}$$

Logo, para o cálculo das reduções de emissões no projeto seria de:

$$ER_{2006} = 735.908,06 \text{ tCO}_2$$

5. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO RESERVATÓRIO DE ITAIPU

Para o cálculo de emissão de gases do reservatório de Itaipu se utilizará a seguinte metodologia, de acordo com o Relatório de Sustentabilidade de Itaipu. O CH_4 é oxidado por bactérias presentes no lago, transformando-se em CO_2 , o qual é 21 vezes menos nocivo ao planeta do que o CH_4 . Assim a emissão residual total do lago se dará pela soma da emissão residual do CO_2 e CH_4 anual.



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

$$E_{reservatório} = E_{CO_2} + 21 \cdot E_{CH_4} \quad (3)$$

A emissão residual do CO₂ é dada por:

$$E_{CO_2} = FE_{CO_2} \cdot A \cdot n \quad (4)$$

Onde FE_{CO_2} é o fator de emissão residual CO₂ por km²/dia, A é a área do reservatório em km² e n é o número de dias. A emissão residual do CH₄ é dada por:

$$E_{CH_4} = FE_{CH_4} \cdot A \cdot n \quad (5)$$

Onde FE_{CH_4} é o fator de emissão residual CH₄ por km²/dia, A é a área do reservatório em km² e n é o número de dias. A emissão residual média será calculada usando a emissão residual total do lago pelo montante de energia gerada pela hidrelétrica. Ou seja:

$$E_{med} = \frac{E_{reservatório}}{E_{gerada}} \quad (6)$$

Então, finalmente para contabilizar a emissão de gases de efeito estufa no ano correspondente a energia vertida que será utilizada para produção do hidrogênio, tem-se:

$$E_{CO_2} vertida = E_{med} \cdot EG_{vertida} \quad (7)$$

O Lago de Itaipu está localizado em uma região de clima temperado subtropical úmido e ele possui grande profundidade e pouca área inundada em relação à produção de energia anual. O reservatório apresenta baixas taxas de emissão de CO₂ e CH₄, comparado a outros reservatórios de hidrelétricas brasileiras. De acordo com o relatório de sustentabilidade da Itaipu, o fator de emissão residual, que é o saldo entre emissão e absorção de CO₂ do lago, corresponde a 170 quilos de CO₂ por km².dia e 10,7 quilos de CH₄ por km².dia.

$$FErv_{CO_2} = 170 \frac{kg \cdot CO_2}{km^2 \cdot dia}$$

$$FErv_{CH_4} = 10,7 \frac{kg \cdot CH_4 \cdot km^2}{km^2 \cdot dia}$$

Como a área superficial do lago é de aproximadamente 1.350 km², através de (7) e (8), anualmente as emissões residuais da Itaipu correspondem a aproximadamente 83,767 toneladas de CO₂ e 5,27 toneladas de CH₄.

$$Erv_{CO_2} = 83.767 tCO_2$$

$$Erv_{CH_4} = 5.270 tCH_4$$

Somando o CO₂ e o CH₄ equivalente, usando (6), calcula-se a emissão residual total do lago de Itaipu.



$$E_{reservatório} = 194.437 \text{ tCO}_2$$

Agora, considerando que toda a energia vertida turbinável foi gerada, então toda a energia disponível foi turbinada. Tem-se um montante de energia gerada pela Itaipu em 2006 de 96.327.346 MWh. A emissão residual média é de:

$$Erv_{med} = 2,0185 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$$

Como a energia excedente para a produção de hidrogênio no ano de 2006 foi de 3.637.410 MWh. então a parte da emissão de CO₂ devido a esta energia é de:

$$Erv_{CO_2 \text{ vertida}} = 73.347,15 \text{ tCO}_2$$

6. CONCLUSÃO

A contabilização no processo de produção de hidrogênio através da metodologia ACM0002 foi de 735.908,06 créditos de carbono. É uma quantia considerável se comparados com outros projetos MDL. Por exemplo, de acordo com a Revista Biodiesel, o Aterro Bandeirantes, um dos maiores projetos em geração de energia elétrica a partir do lixo, vendeu para Fortis Bank quase 1 milhão de toneladas de créditos de carbono, rendendo aproximadamente R\$ 34 milhões.

Em primeira mão, produzir hidrogênio utilizando a energia vertida em hidrelétricas parece ser um processo totalmente limpo. Porém, é necessário discutir alguns pontos que pode ser relevantes para o cálculo de emissões. A comunidade científica questiona se os reservatórios de hidrelétricas contribuem substancialmente para o aumento do dióxido de carbono e do gás metano, ou seja, gases de efeito estufa. Existem algumas pesquisas nessa área estão em desenvolvimento, como, por exemplo, o projeto de balanço de carbono nos reservatórios de FURNAS [9]. A emissão de áreas inundadas em hidrelétricas é considerada como fonte de fuga, sendo ele um incremento nas emissões dos Gases de Efeito Estufa que ocorre fora dos limites de um determinado projeto MDL, porém, que pode ser atribuído à atividade do mesmo [1]. Se for considerada a emissão dos gases de efeito estufa no reservatório de Itaipu correspondente à energia vertida, a contabilização seria de 662.560,91 créditos de carbono, diminuindo consideravelmente os créditos de carbono contabilizados.

Para que este projeto de produção de hidrogênio resulte em reduções certificadas de emissões, é necessária analisar quesitos como a adicionalidade da atividade do projeto, impactos ambientais, plano de monitoramento, entre outros. Em um projeto MDL, a metodologia utilizada neste trabalho para o cálculo de redução de emissões de gases de efeito estufa na produção de hidrogênio com o excedente de Itaipu, estaria inserida no Documento de Concepção de Projeto. É necessária a sua aprovação, para a continuidade nas próximas etapas na efetivação do projeto como MDL.

Outro ponto interessante que poderia ser analisado a futuro, é que grande parte do hidrogênio produzido hoje é a partir de fontes não renováveis de energia, como carvão ou petróleo. Uma contabilização de créditos de carbono em produção de hidrogênio poderia levar em consideração uma comparação entre a produção de hidrogênio através de fontes não renováveis e renováveis, como é o caso de uma hidrelétrica. É preciso uma pesquisa aprofundada e a apuração de dados de emissão de gases de efeito estufa nestes processos, para estabelecer uma metodologia para a obtenção de créditos.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

BIBLIOGRAFIA

- [1] Conselho Executivo MDL, “Metodologia consolidada de linha de base para a geração de eletricidade conectada à rede a partir de fontes renováveis – ACM0002 /Versão 6”.
- [2] Ministério da Ciência e Tecnologia e Ministério de Minas e Energia (2006), “ Cálculo dos fatores de emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil.”
- [3] Itaipu Binacional (1991), “Aspectos Técnicos da Usina Hidrelétrica de Itaipu”. Foz do Iguaçu, PR.
- [4] Itaipu Binacional (2007), “Relatório de Sustentabilidade 2007”. Foz do Iguaçu, PR.
- [5] Norsk Hydro Electrolysers AS. “Technical Information”, <http://www.hydro.com/en>. Julho de 2008.
- [6] Gomes Neto, Emilio Hoffmann (2005), “Hidrogênio, Evoluir sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível” Curitiba: Brasil H2 Fuell Energy.
- [7] Santos Júnior, Antonio C. F. (2004), “Análise da Viabilidade Econômica da Produção de Hidrogênio em Usinas Hidrelétricas: Estudo de Caso em Itaipu”.
- [8] Convecção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (2008), “Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo”.
- [9] Cimbleiris, André Carlos P., “Projeto Balanço de Carbono nos reservatórios de FURNAS” Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/projetofurnas/index.html>. 2008.