



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **DEFINIÇÃO DO CENÁRIO BASE E A ANÁLISE DA EMISSÃO DE CH<sub>4</sub> EM FORNOS DESTINADOS À PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

**Ivana Márcia Oliveira Maia, ivana-marcia@hotmail.com<sup>1</sup>**  
**Solidônio Rodrigues Carvalho, srcarvalho@mecanica.ufu.br<sup>2</sup>**  
**Edson Alves Figueiras, srcarvalho@mecanica.ufu.br<sup>2</sup>**  
**Rogério Lima Mota Oliveira, srcarvalho@mecanica.ufu.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>IFMA - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão,  
Av. Getúlio Vargas, N. 04, Monte Castelo, São Luís-MA, 65030-005

<sup>2</sup>UFU - Universidade Federal de Uberlândia,  
Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia – MG, 38400-902

**Resumo:** O Protocolo de Quioto, determina que os países reduzam suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 5,2%, em média, entre 2008 e 2012. Como forma de não comprometer a economia dos países signatários do acordo, foi estabelecido que parte desta redução poderia ser feita a partir de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), por meio de negociações com a ONU. Os mecanismos MDL envolvem a compra, pelos países desenvolvidos, de certificados de redução de emissões de carbono (créditos de carbono) dos países em desenvolvimento (que não têm metas de redução de emissões). O Brasil encontra-se entre os signatários do Protocolo de Quioto, sendo também considerado como o maior produtor de carvão vegetal do mundo. Essa atividade tem como característica a poluição do ar gerada pela fumaça dos fornos usados para fabricar o produto. Uma das ferramentas básicas para avaliar esse processo de redução de emissões é o cenário base. Que é uma representação das emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de redução proposta por MDL, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes listados no protocolo. Este artigo descreve um estudo que visa estimar a emissão de metano durante o processo de produção de carvão vegetal para definir o cenário base de uma Unidade de Produção de Carvão (UPC). A partir do cenário base, estudos estão sendo realizados para maximizar a produção e minimizar a emissão de GEE com recursos oriundos da parceria FEMEC-UFU/Votorantim Siderurgia e projetos de pesquisa vinculados ao CNPq. Assim, a metodologia a ser proposta deve tornar possível estimar a quantidade de metano emitida no processo de carbonização, usando o rendimento gravimétrico como variável de controle e curvas de regressão propondo uma metodologia para aplicação em fornos de grande porte.

**Palavras-chave:** cenário base, sustentabilidade, carvão vegetal, MDL.

### **1. INTRODUÇÃO**

Cientes dos efeitos negativos da mudança do clima da Terra e que as atividades antrópicas estão aumentando substancialmente as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE), os países da Organização das Nações Unidas (ONU) reuniram-se na Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima UNFCCC (UNFCCC, 2010), com a proposta de um acordo que estipulasse controle sobre estas intervenções no clima. Este acordo nasceu em dezembro de 1997 com a assinatura do Protocolo de Quioto. Desta forma, o Protocolo de Quioto determina que os países reduzam suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2%, em média, entre 2008 e 2012 (primeiro período do compromisso).

Evitando comprometer a economia desses países, o protocolo estabelece que parte desta redução de GEE deva ser feita por meio de negociações com a ONU a partir de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), canal através do qual os governos e as corporações privadas transferem tecnologias limpas e promovem o desenvolvimento sustentável.

Segundo Bakker, Coninck e Groenenberg (2010) O MDL é um mecanismo de mercado, procurando cada vez mais opções tecnológicas de redução de custos, evitando os riscos financeiros para atender a demanda de emissão de Créditos de Carbono.

Assim, esses mecanismos envolvem a compra, pelos países desenvolvidos, de certificados de redução de emissões de carbono (créditos de carbono) dos países em desenvolvimento (que não têm metas de redução de emissões). Esta proposta visa auxiliar no processo de redução de GEE e no sequestro de carbono incentivando os países a implantar projetos de redução ou captura de GEE. Os projetos são certificados com uma Redução Certificada de Emissões (RCE) denominada Créditos de Carbono que podem ser posteriormente negociados no mercado nacional ou internacional.

Como signatário, o Brasil não possui metas de redução, porém precisa manter a ONU informada do seu nível de emissões buscando o desenvolvimento de estratégias para as mudanças climáticas, podendo negociar com países desenvolvidos a sua redução de emissões de gases poluentes.

Atualmente o Brasil figura no panorama internacional como o maior produtor mundial de carvão vegetal, atividade esta caracterizada pela poluição do ar gerada pela emissão de gases dos fornos usados no processo produtivo. Dentre os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo proposto no Protocolo de Quioto, uma das formas de controlar a emissão de GEE deste processo seria, inicialmente, conhecer os níveis de emissão de GEE da unidade produtiva, gerando um cenário base de emissão. Um cenário base (baseline) é uma representação das emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de redução proposta por MDL, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes listados no Protocolo.

Assim, a partir da estimativa da quantidade de gases emitidos no processo de carbonização, pode-se implantar melhorias no processo, maximizando a qualidade da produção reduzindo as emissões de gases na atmosfera.

Este trabalho enfoca a necessidade e as bases para o desenvolvimento de uma nova metodologia para a definição do cenário base da emissão de GEE de uma empresa produtora de carvão vegetal em escala industrial utilizando fornos de alvenaria tipo RAC 220 a partir da adaptação das metodologias já adotadas pelo MDL.

## 2. METODOLOGIAS PROPOSTAS PELO PROTOCOLO MDL

A avaliação da emissão de gases a partir de um cenário base e monitoramento baseados no Protocolo Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) deve ser validada, aprovada e registrada. Neste contexto são definidas como ferramentas as metodologias contidas nos protocolos AM0041 e AMSIII.K cuja nomenclatura está codificada. A sigla AM refere-se à metodologia aprovada, a sigla AMS é utilizada para metodologias aprovadas para projetos em pequena escala. Segundo a UNFCCC (UNFCCC, 2010), se um projeto não se adequar a uma metodologia aprovada, referente ao seu caso particular, deve ser apresentada uma proposta de nova metodologia para o Painel Metodológico, caso admitida, a nova metodologia será convertida em uma metodologia aprovada.

### 2.1. A Metodologia AM0041

A metodologia AM0041 (Mitigation of Methane Emissions in the Wood Carbonization Activity for Charcoal Production) é específica para o segmento carvoeiro e propõe a mitigação das emissões de metano na carbonização na produção do carvão vegetal, através da melhoria do rendimento gravimétrico por adoção de novas tecnologias, novos projetos e/ou aperfeiçoamento no processo produtivo envolvendo as operações dos fornos.

### 2.2. A Metodologia AMS III\_K

A metodologia AMS III\_K (Avoidance of methane release from charcoal production by shifting from pit method to mechanized charcoaling process) é própria para processos mecanizados de produção do carvão vegetal. Esta metodologia é aplicada na análise laboratorial de quantidades reduzidas de emissões e considera a queima dos vapores e gases da carbonização, controlando a emissão de metano através da sua combustão em flares (com uso energético dos gases de combustão ou não) até o limite de redução equivalente a 60000 t CO<sub>2</sub>/ano. Fundamenta-se no monitoramento do teor de metano e vazão dos fumos emitidos para o meio ambiente.

Para Leif et al (2000), a principal consideração na seleção das linhas de base deve ser a sua eficácia para ajudar a alcançar o objetivo final da UNFCCC, ou seja, a estabilização das concentrações de gases com efeito de estufa na atmosfera.

Alem desta recomendação, é sugerido que o cenário base de emissões de GEE deve atender a quatro princípios fundamentais: precisão, abrangência, conservadorismo e praticidade. A partir da aplicação destes quatro princípios pode-se desenvolver um cenário base que represente precisamente o nível de emissões, garantindo a representação real do cenário.

Tanto no primeiro cenário (antes das intervenções) como no segundo cenário (pós intervenção), a linha de base deve fornecer uma descrição precisa acerca das emissões, na ausência de qualquer intervenção proposital, uma vez que as atividades que envolvem compra e venda de reduções de emissões serão avaliadas em termos financeiros e uma grande redução de emissões de gases melhoraria as condições financeiras dos acordos. Apresentar resultados apontando grande redução das emissões beneficiaria o vendedor (com seu projeto mais rentável) e o comprador (compromisso mais fácil, envolvendo menor custo). Entretanto, superestimar a redução de emissões, estabelecendo linhas de base artificiais comprometem a natureza do projeto. Portanto, ainda que possível de manipular, a linha de base não deve ser superestimada. Entretanto em certos casos, por razões de conveniência ou custo, alguns componentes do sistema são susceptíveis de ser omitidos nos resultados por uma questão de praticidade. Se o princípio conservador é aplicado e se for demonstrado que os componentes omitidos não são de grande importância e não alteram substancialmente os resultados da pesquisa, então não entraria em conflito com o objetivo da UNFCCC.

Toda a metodologia deve ser exposta de forma clara, viabilizando a compreensão de todas as etapas da pesquisa, de forma que produza resultados sólidos, não vulneráveis à mudanças em breve período, verificáveis a longo prazo. A praticidade na implementação da metodologia e na apresentação dos resultados completa a base viável da estrutura de um cenário base de emissões de gases. A avaliação da UNFCCC aplica critérios exigindo que as normas para definição

de linhas base devam favorecer projetos que rendem reduções reais, mensuráveis e verificáveis longo prazo das emissões de gases, de forma a desestimular projetos que não atendem a tais condições. A linha base do projeto deve ser verificável, de modo que possa gerar aceite não só pelo mecanismo avaliador e investidor do projeto, mas também por um terceiro avaliador imparcial ou por um organismo de supervisão do projeto, no que tange os interesses principais da UNFCCC. Para tanto, as regras para a definição das linhas base precisam ser amplamente práticas e simples o suficiente para serem aplicáveis em uma variedade de lugares e circunstâncias e atingindo um grupo suficientemente grande de pessoas. Entretanto a praticidade e simplicidade não devem favorecer a violação dos princípios de precisão, abrangência e conservadorismo.

Todas estas recomendações não tem o objetivo de desestimular os desenvolvimentos de projetos, mas servem para aferir a confiabilidade do projeto, para que ele seja aceito pelos organismos responsáveis.

As metodologias propostas e aprovadas no âmbito dos protocolos MDL citadas neste artigo abordam o segmento e o processo produtivo a que se refere este trabalho, produção de carvão vegetal. Porém, algumas circunstâncias devem ser observadas, como por exemplo: todos os cálculos referidos nas normas são estipulados em base seca, ou seja, madeira anidra (sem água). Nota-se, porém, que devido a produção ser de caráter industrial, o que caracteriza grandes volumes de madeira e carvão, torna-se inviável a estipulação da base seca.

Desta forma podem-se citar alguns aspectos que inviabilizam a determinação da base seca: i) grande volume de material a ser analisado por forno e, ii) inviabilidade quanto ao tempo de análise devido ao grande volume de amostras. Para contornar esse inconveniente a emissão atual dos fornos será medida de forma a se tornar a linha de base para a comparação com a emissão dos novos métodos de produção de carvão.

A aquisição e montagem do equipamento estipulado pelas normas vigentes envolvem além de alto custo, seqüestro e transporte de pequenas amostras de gases emitidos até o laboratório de análises. Tratando-se de uma produção em escala industrial é importante a avaliação da precisão desta metodologia na coleta dos dados, uma vez que é possível a perda de características na aquisição e transporte de amostras.

Verifica-se, portanto que esta metodologia não pode ser aplicada diretamente em todas as situações, como por exemplo o cenário real objeto deste estudo. Assim, é necessário desenvolver uma metodologia para medição e definição do cenário base de modo a permitir que o processo de redução de emissão de GEE, possa ser adequadamente definido. E que possa ser validado em comparação com as metodologias propostas pelos MDLs para aprovação.

### 3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Para a definição de uma metodologia que permita a avaliação da redução de emissão de GEE no cenário de um forno de produção de carvão vegetal, conta-se com recursos para o desenvolvimento do projeto oriundos da parceria FEMEC-UFU/Votorantim Siderurgia e projetos de pesquisa vinculados ao CNPq e prevê-se a seguinte seqüência de atividades:

- 1 - Definição do cenário base considerando os fornos não instrumentados, denominados fornos padrão (cenário 1)
- 2 - Obtenção do cenário de emissão em fornos instrumentados e otimizados (cenário2).
- 3 - Comparação da emissão entre os resultados obtidos nos fornos “padrão” e instrumentados com termopares.

Entretanto, considerando a não adequação integral das normas vigentes nas metodologias aprovadas pelo MDL, propõe-se uma nova metodologia onde são previstas a obtenções de cenários base para os fornos de produção industrial, envolvendo as seguintes etapas:

Etapa 1- Aquisição e montagem da bancada de equipamentos necessários à implementação e avaliação das metodologias propostas nos protocolos AM041 e AMSIII\_K para este processo produtivo.

Etapa 2- Aquisição e montagem dos equipamentos necessários à implantação e avaliação da nova metodologia proposta.

Para a Etapa 1, foi definida a configuração de equipamentos apresentada na Figura 1. Onde, (A) é um tubo de aço inoxidável que deve ser instalado no ponto central da seção transversal da chaminé; (B) representa um Filtro e condensador; (C) é uma Bomba peristáltica; (D) é um Gasômetro, usado para armazenar os gases emitidos e capturados pelo sistema de medição; e (E) é um frasco de vidro com válvula dupla ou um saco de Tedlar, para coleta de gases para análise.

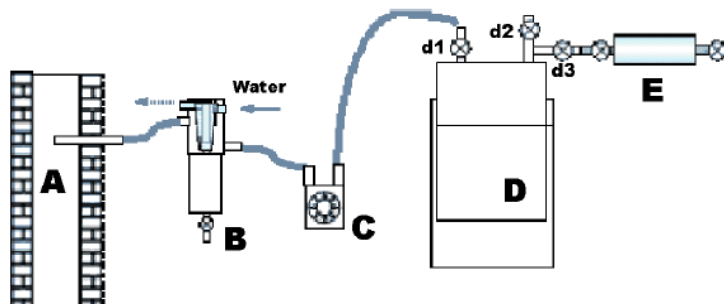


Figura 1. Equipamentos necessários para a medição de metano conforme os MDL.

O processo de medição proposto consiste nas seguintes etapas: Configuração inicial, Coleta do gás, e Amostragem do gás.

A configuração inicial do mecanismo de medição é realizada segundo as seguintes ações:

1. Conecte o tubo de aço inoxidável no ponto central da seção transversal da chaminé antes do começo do procedimento de carbonização;
2. Conecte todo o sistema de coleta de amostra de gás.;
3. Feche as válvulas d1e d3 do gasômetro, abrir a válvula d2 para remover todo o gás residual no gasômetro;
4. Feche todas as válvulas do gasômetro;
5. Ajuste a bomba peristáltica entre 1.3 e 1.5 litros/minuto;

Após a configuração inicial, é iniciada a remoção do gás após uma hora do começo da carbonização, que é feita segundo o seguinte procedimento:

1. Abra as válvulas d1 e d2 do gasômetro;
2. Ligue a bomba durante 1 minuto para remover o gás residual do sistema;
3. Feche todas as válvulas do gasômetro;
4. Purgar o condensador;

Durante todo o processo de carbonização repete-se a amostragem do gás, a ser realizada segundo o seguinte procedimento:

1. Ligue a bomba peristáltica por 10 minutos em cada hora;
2. Repita esse procedimento durante 6 horas
3. Retire uma amostra do gás para análise;
4. Drene o condensador;
5. Meça a massa do condensado (alcatrão e água );
6. Medir com cuidado o volume e temperatura do gasômetro;
7. Conecte o frasco de vidro ou o saco de Tedlar à válvula d3;
8. Abra a válvula d3 para encher o frasco de vidro ou o saco de Tedlar;
9. Feche a válvula d3;
10. Conecte um segundo frasco de vidro ou saco de Tedlar à válvula d3;
11. Abra a válvula d3 para encher o frasco de vidro ou o saco de Tedlar;
12. Feche a válvula d3;
13. Faça as anotações da data e da hora no frasco de vidro ou no saco de Tedlar;
14. Os frascos de vidro ou os sacos de Tedlar devem ser enviados a um laboratório para a análise em um cromatógrafo em um aparelho de Orsat (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>);
15. Abra a válvula d2 do gasômetro para retirar todo o gás;
16. Feche a válvula d2 do gasômetro.

Para a Etapa 2, de aquisição e montagem dos equipamentos necessários à implantação e avaliação da nova metodologia proposta, temos o esquema de medição proposto como na Figura 2. Que é baseada no ajuste da haste de coleta (B) que coleta os gases emitidos na chaminé do forno (A) durante a carbonização Este ajuste é seguido pela captação dos dados usando o Analisador Contínuo de Metano (C). Em seguida é realizada a análise dos dados em laboratório, definindo a curva de regressão que determine a equação e coeficientes adequados para a estimativa de metano emitida no processo de carbonização para cada tonelada de carvão produzida, usando o rendimento gravimétrico como variável de controle. Para tanto, esses estudos serão feitos usando-se na carbonização madeiras da mesma gleba, mesmo tempo de secagem e outros parâmetros de mesma origem.

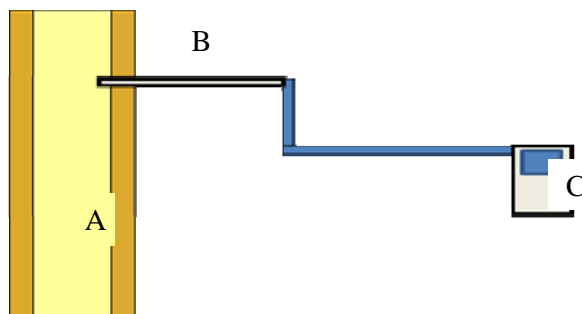


Figura 2. Equipamento proposto na nova metodologia

Finalmente na Etapa 3, é efetuada a comparação dos resultados das duas pesquisas avaliando, desse modo, a aplicação da metodologia adotada atualmente nos protocolos AM0041 e AMSII K em fornos maiores, com fundamentos para propor adequações ou nova norma para aplicação em fornos de grande porte.

#### 4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de tecnologias desconsiderando os princípios da sustentabilidade não atende aos requisitos atualmente fundamentais da economia mundial. O sucesso das novas tecnologias depende da sua aplicação promovendo desenvolvimento sustentável.

A produção mecanizada do carvão vegetal, uma vez caracterizada pela emissão de gases de efeito estufa, estabelece um processo passível de interferência de forma que esta venha a promover a redução de emissões. Dentro dos parâmetros do MDL, os protocolos AM0041 e AMSII K tratam deste segmento produtivo, porém sem abrangência para sistemas produtivos de grande porte, o que aponta para a necessidade do desenvolvimento de uma nova metodologia que determine a linha base para este formato de produção.

Na definição de um cenário base das emissões de GEE de uma empresa, o desafio consiste em atender ao princípio fundamental da filosofia do UNFCCC, promovendo a redução da agressão ao meio ambiente. Nestes termos, a linha base tem que ser precisa, desenvolvida dentro de padrões de confiabilidade, de fácil compreensão com praticidade em sua metodologia de aplicação. Desta forma, seus resultados promoverão a validação e aprovação da metodologia nos organismos avaliadores do MDL.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, IF-MA/ DDE/DMM  
À Universidade Federal de Uberlândia, UFU/FEMEC  
À CAPES.  
Ao CNPQ  
À Votorantim Siderurgia

#### 6. REFERÊNCIAS

- Gustavsson, Leif. Karjalainenb, Timo. Marlandc, Gregg. Savolainend, Ilkka. Schlamadingere, Bernard and Apps, Mike (2000) "Project-based greenhouse-gas accounting: guiding principles with a focus on baselines and additionality". Energy Policy, Volume 28, Issue 13, November, P 935-946.
- Bakker, Stefan; Coninck, Heleen de, Groenberg, Heleen (2010), "Progress on including CCS projects in the CDM: Insights on increased awareness, market potential and baseline methodologies" International Journal of Greenhouse Gas Control 4 p. 321–326.
- AM0041(2010) Mitigation of Methane Emissions in the Wood Carbonization Activity for Charcoal Production. <[http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF\\_AM\\_6AUG884HINVSFPDZN0LQY4N581BSF9](http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_6AUG884HINVSFPDZN0LQY4N581BSF9)>
- AMSIII.K (2010) Avoidance of methane release from charcoal production by shifting from traditional open-ended methods to mechanized charcoaling process---Version4. 20/03/2010 <[cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF\\_AM\\_ZBFK5T27N1DE9P6WT0J7DUPLEQ1VLM](http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_ZBFK5T27N1DE9P6WT0J7DUPLEQ1VLM)>
- MDL (2010) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. 20/03/2010 <<http://cdm.unfccc.int/index.html>>.
- UNFCC (2010) United Nations Framework Convention on Climate Change 20/03/2010, <<http://cdm.unfccc.int/index.html>>.

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

### **BASELINE DEFINITION AND THE ANALYSIS OF CH<sub>4</sub> EMISSION IN STOVES FOR CHARCOAL PRODUCTION**

**Ivana Márcia Oliveira Maia, [ivana-marcia@hotmail.com](mailto:ivana-marcia@hotmail.com)<sup>1</sup>**  
**Solidônio Rodrigues Carvalho, [srcarvalho@mecanica.ufu.br](mailto:srcarvalho@mecanica.ufu.br)<sup>2</sup>**  
**Edson Alves Figueiras, [srcarvalho@mecanica.ufu.br](mailto:srcarvalho@mecanica.ufu.br)<sup>2</sup>**  
**Rogério Lima Mota Oliveira, [srcarvalho@mecanica.ufu.br](mailto:srcarvalho@mecanica.ufu.br)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>IFMA - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão,  
Av. Getúlio Vargas, 4, São Luís-MA, 65030-005

<sup>2</sup>UFU - Universidade Federal de Uberlândia,  
Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia – MG

**Abstract:** The Kyoto Protocol defines that the countries must reduce their emission of greenhouse gas in 5.2%, till 2012. To avoid problems in the subscribers countries, it was established that na amount of this reduction would be achieved with clean development mechanisms (CDM). The CDM mechanisms uses the acquisition, by the developed countries, of carbon credits from in development countries. Brazil is one of the protocl subscribers, and also is considered the greatest charcoal producer. This activity is very air polluting, because generates smoke from the stoves. The baseline is one of the basics tools to eavluate the emission reduction proccess. It is a representation of the antropics greenhouse gas emission done by the sources without the application of the CDM mechnisms, includin the emissions of all gases, sectors, and cathegries of sources listed in the protocol. This paper presents a study tyha aims to estimate the methane emission during the cahrcoal producing proccess to define a baseline for a Charcoal Production Unity (UPC). From this baseline, several studies may be done to maximize the production, minimizing the grenhouse emission, that are being financed by the colaboration of FEMEC-UFU/Votorantim Siderurgia and by the CNPQ. Thus, the proposed methodology may allow the estimation of the methane emission quantity produced in the carbonization proccess, that will be done using the gravimetric productivity as control variable and regression curves, proposing an methodology to be appllied to large scale stoves.

**Keywords:** baseline, sustainabilty, charcoal, CDM.