

COMPARAÇÃO ENTRE A UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS NA REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO QUANTO À REDUÇÃO NAS EMISSÕES DE CO₂¹

Eustáquio de Souza Baêta Júnior²

Felipe Inácio Cunha Alves²

Carlos Frederico Campos de Assis³

Paulo Santos Assis⁴

Resumo

É indiscutível que o carregamento de combustíveis, carvão e coque, em altos-fornos que são responsáveis por uma grande parcela dos custos da redução atualmente. Com a ideia de diminuir os custos do alto-forno a partir da redução do carregamento de combustíveis na zona de preparação do forno, surgiu a técnica da Injeção de Carvão Pulverizado (ICP). O ICP pelas ventaneiras do alto-forno consiste na aplicação de finos diretamente na zona de combustão do forno, juntamente com ar aquecido. Esta técnica tem sido aplicada amplamente nos altos-fornos do mundo inteiro. Este trabalho visa utilizar a ideia do ICP, comparando o uso de diferentes biomassas. Tais biomassas consistirão em: finos de carvão vegetal, capim elefante e bagaço de cana. A viabilidade da substituição será avaliada através de análises químicas imediatas, sendo o carbono fixo fator determinante para a queima, o poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS) além de balanços da emissão de carbono de todo o processo produtivo que compreende a produção e utilização das matérias primas, visando determinar a redução de carbono propiciada pela substituição. As vantagens desta substituição será uma redução nos custos da empresa, já que muitos insumos das biomassas têm preços menores que combustíveis fósseis e redução das emissões de CO₂, visto que a produção de biomassas capta carbono da atmosfera. Além disso a redução na quantidade de combustível utilizado no carregamento do forno é fator que reduz custos.

Palavras-chave: Biomassa; Injeção; Balanço de carbono.

COMPARISON BETWEEN THE UTILIZATION OF DIFFERENT BIOMASSES ON REDUCTION OF IRON ORE IN RELATION OF CO₂ EMISSION REDUCTION

Abstract

The loading of fuel, coal and coke in blast furnaces are responsible for a large portion of the costs of ironmaking today. The idea of cost reduction of the blast furnace from fuel loading reduction in the preparation zone, came the technique of Pulverized Coal Injection (PCI). PCI into blast furnace tuyeres involves the application of pulverized material directly, with heated into the combustion zone of the furnace. This technique has been widely applied in blast furnaces on whole world. This paper aims to use the idea of ICP, comparing with using of different biomasses. The example of biomasses is: charcoal fines, elephant grass and sugar cane bagasse. The feasibility of replacement will be supported by composition analysis, fixed carbon, lower calorific value (PCI) and upper calorific value (PCS) in addition to the carbon balance of the entire production process of production and use of raw materials, in order to determine the reduction relation by carbon substitution. The advantages of this substitution will be a cost reduction on ironmaking, as we know many of that biomass has lower prices than fossil fuels and lower CO₂ emissions, since the production of biomass captures carbon from the atmosphere. Besides the reduction of the amount of fuel used on furnace loading is a great factor on cost reduction.

Key words: Biomasses; Injection; Carbon balance.

¹ *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Graduando em Engenharia Metalúrgica, UFOP, MG, Brasil.*

³ *Engenheiro Metalurgista, UFOP, Prof. Msc., Cefet-MG, Unidade Timóteo; e aluno de doutorado Redemat, MG, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Metalurgista, UFMG, Dr., DEMET Engenharia Metalúrgica, UFOP. Ouro Preto, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Devido às ações antrópicas a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (principal causador das mudanças climáticas) vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, agravando o chamado efeito estufa e conseqüentemente contribuindo para o aquecimento global. Essas ações estão ligadas principalmente à queima de combustíveis fósseis (sobretudo para geração de energia e atividades industriais), ao setor de transporte, o mau uso dos solos agrícolas, utilização desenfreada de fertilizantes, desmatamento, dentre outros.

Uma técnica que já vem sendo implantada com consistência em diversos altos-fornos do mundo é a injeção de carvão pelas ventaneiras do alto-forno (ICP). A técnica de ICP além da redução do combustível redutor no topo do alto-forno, diminui o custo de produção do ferro gusa, viabilizou a substituição do óleo diesel e abriu a possibilidade de estudos para injeção de outros materiais, como: finos de minério, fundentes plástico e papel.⁽¹⁾ Isto viabilizou os estudos deste trabalho que visa comparar a redução de minério de ferro utilizando diferentes biomassas (carvão vegetal, bagaço de cana e capim elefante), sendo o principal ponto a redução de CO₂ na siderurgia e conseqüentemente a redução de custos também.

O bagaço proveniente da moagem é o maior subproduto da cana-de-açúcar. Estima-se que cerca de 12 milhões de toneladas de bagaço são gerados anualmente, sendo aproximadamente 320 kg por tonelada de cana moída.⁽²⁾ Já o capim elefante vantagens em relação às demais fontes de biomassa, dentre elas: maior produtividade, menor ciclo produtivo (6 meses), melhor fluxo de caixa e possibilidade de mecanização total do cultivo.⁽³⁾

Sabendo que a cana-de-açúcar é um importante produto na economia brasileira e, logo, a produção do bagaço de cana é conseqüentemente grande. Assim adquirir esta biomassa será a um custo baixíssimo. O mesmo vale para o capim elefante, que tem uma produção a ciclos curtos, como foi mencionado, além da mesma ser a custo muito baixo. Por último temos o carvão vegetal, que já é de produção comum no Brasil e seus finos já são muito utilizados na indústria siderúrgica hoje em dia.

Algumas características dos combustíveis devem ser bem definidas para um bom controle dos processos de redução, no caso das biomassas injetadas pelas ventaneiras do alto-forno essas características consistirão em uma série de análises, sendo estas as análise química imediata, elementar, poder calorífico superior e inferior além de balanços da emissão de carbono de todo o processo produtivo que compreende a produção e utilização das matérias primas, visando determinar a redução de carbono propiciada pela substituição.

Apesar dos finos de carvão serem muitas vezes gerados internamente e o bagaço ser subproduto da cana-de-açúcar a utilização das biomassas de modo geral ainda acarreta na manutenção de áreas plantadas já que como um dos seus objetivos passa a ser a redução nos níveis de carbono emitidos essas áreas passam a receber destaque na captura do carbono.

1.1 Aspectos da Redução do Minério

A redução do minério de ferro no Alto-forno ocorre com a passagem do gás gerado na zona de combustão que aquece e reage com a carga. A geração de calor é proveniente da formação de CO₂ e CO, sendo o CO o principal agente redutor.⁽⁴⁾

O estudo da zona de combustão está intimamente ligado a produtividade do forno sendo a densidade aparente do combustível fator importante na granulometria, assim o decréscimo do diâmetro da partícula aumenta este.⁽⁵⁾

A injeção de carvão pulverizado (ICP) nas ventaneiras gera um aumento no volume dos gases, assim o controle da pressão no topo do forno deve ser controlado. Esses gases atrelados à diminuição na permeabilidade causada pela menor quantidade de combustíveis sólidos carregados podem influenciar na produtividade, porém modificações na qualidade das matérias-primas e distribuição de carga diminui esses efeitos.⁽⁶⁾

O dióxido de carbono é um dos principais gases do efeito estufa chegando a 1,48 toneladas de CO₂ por tonelada de aço produzido. No setor siderúrgico pode-se dizer que 100% das emissões são devidas a esse gás.⁽⁷⁾

1.2 As Biomassas

O carbono constitui grande parte da matéria seca das plantas tendo seu ciclo envolvendo emissões da indústria e captura pelos vegetais (fotossíntese). Visando principalmente as plantas podemos perceber que num geral se captura mais carbono que se emite com a cultura das espécies vegetais.⁽⁸⁾

A biomassa pode ser entendida como tudo que tem origem orgânica, proveniente da fotossíntese cuja energia pode ser aproveitada através da combustão. Segundo o Ministério das Minas e Energia a lenha é responsável por 10,2% de todo o gasto energético do país, em contrapartida o Plano Nacional sobre mudança no clima indica a biomassa responsável por 30,9% da oferta interna de energia em 2007.^(9,10)

O aproveitamento de toda essa energia passa pela preparação de combustíveis provenientes dessas biomassas com características particulares baseadas na sua aplicação.

O estudo detalhado mostra que análises químicas imediatas e elementares têm propostas diferentes, sendo assim elas se sobrepõem, uma está interessada na quantidade de cada elemento enquanto outra considera a disposição destes elementos dentro da amostra: carbono fixo, cinzas, voláteis e umidade.⁽¹¹⁾

As comparações entre produtividades das matérias primas tem maior dificuldade quanto às unidades utilizadas para apresentação dos resultados, seja em matéria seca ou úmida, metros cúbicos ou toneladas além de diferentes ciclos produtivos.⁽¹²⁾

Essa comparação ainda depende dos diferentes tipos obtenção e aplicação da biomassa e da sua contribuição para outros setores, seja as diversas utilizações das lenhas, o bagaço na geração de energia e o capim como pastagens.

Cerca de 29,17% do gusa fabricado no Brasil utiliza carvão vegetal que tem teores de cinzas e pureza melhores quando comparado ao coque que também é mais custoso. O carvão é obtido pela pirólise e carbonização da madeira e o rendimento é da ordem de 310Kg de carvão a cada tonelada de madeira seca podendo ser obtidos diversos outros subprodutos.⁽¹³⁾

Os finos de carvão vegetal podem ser obtidos como subprodutos da própria utilização do carvão como combustível no topo dos Alto-Fornos, sendo a forma mais econômica para essa atividade a manutenção da floresta e o carvoejamento sendo realizadas pela siderurgia levando assim ao máximo aproveitamento dos subprodutos. O capim elefante por sua vez deve ser plantado exclusivamente para sua utilização como combustível.

O bagaço de cana pode se diferenciar dos demais pelo fato de ser adquirido de fonte externa, mantendo-se um consórcio entre o setor siderúrgico e o sucro-

alcooleiro de forma que créditos de carbono podem ser obtidos conjuntamente gerando receitas a ambos os lados. O bagaço compreende cerca de 30% do peso inicial da cana sendo suas características físicas e químicas bem estáveis.⁽¹¹⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises químicas podem ser obtidas através de processo simples que compreende a amostragem da biomassa previamente pulverizada e a análise propriamente dita. O procedimento passa por um levantamento de dados a fim de se adquirir valores médios de composição oferecendo base de comparação.

Sendo assim pode-se chegar a um ciclo de carbono que envolva a siderurgia, desde plantio, processamento e utilização da biomassa. Um modelo que compreenda a injeção de 100kg de biomassa por tonelada de gusa é interessante já que a maioria das usinas que se utilizam do ICP trabalham com taxas bem acima.

A análise química elementar trata-se da determinação do teor do elemento químico, ou seja “é o conteúdo, por porcentagem em massa”, através destes valores o poder calorífico pode ser calculado a partir das equações descritas por Sanches.⁽¹¹⁾

A fórmula de Mendeliev: $PCI = 399 C + 1030H - 109 (O - S) - 24W$

Com o PCI determinado pode através da equação de Jenkins inferir o PCS

Equação de Jenkins: $PCS = 2,3381 + 0,351 C$

A análise química imediata refere-se ao modo como os elementos estão na amostra, com ela “são determinados alguns parâmetros relacionados com a utilização do combustível” que são a parte que se desprende na forma gasosa, matéria volátil, o resíduo dessa pirólise gera o combustível, carbono fixo, e após a combustão vê-se as cinzas.⁽¹¹⁾

As quantidades de carbono capturado da atmosfera pela biomassa tem valores típicos bem conhecidos, já o carbono que é emitido na produção e preparação da biomassa para se transformar em combustível é de difícil determinação e pode-se inferir valores próximos através de cálculos que abordem as etapas individuais. Um balanço de carbono torna-se viável juntando-se o carbono assimilado, a área a ser plantada para a injeção de 100kg/t de gusa e o carbono que é emitido na produção.

Alguns parâmetros que devemos conhecer são o carbono assimilado é a quantidade de carbono que o vegetal capta da atmosfera, o carbono da biomassa é o que está disponível para o processo, ou seja, a porcentagem carbono elementar na massa seca, a área que é necessária plantar para produzir uma tonelada sendo a quantidade injetada pelo carbono da biomassa e o carbono emitido no processamento da biomassa para a injeção de cem quilos.

2.1 Resultados

A composição química típica das biomassas é importante para a comparação e determinação do poder calorífico sendo mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição Química de diferentes biomassas

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CAPIM ELEFANTE, BAGAÇO DE CANA E CARVÃO VEGETAL			
Elementos	Capim Elefante ⁽¹⁴⁾	Bagaço De Cana ⁽¹⁴⁾	Carvão Vegetal ⁽¹⁵⁾
Carbono (%)	41,2	46,7	83,7
Hidrogênio (%)	5,6	5,9	3,1
Nitrogênio (%)	1,8	0,9	1,1
Oxigênio (%)	51,4	46,7	12
Carbono Fixo (%)	8,4	15	78,2
Matéria Volátil (%)	82,6	73,8	21,8
Cinzas (%)	10,9	11,3	15,7

Considerando dados típicos de umidade das biomassas em torno de 10% o Poder Calorífico Inferior e Superior podem ser calculados tendo os resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Poder Calorífico Superior e Inferior de diferentes biomassas

PODER CALORÍFICO INFERIOR E SUPERIOR CALCULADOS			
	Capim Elefante	Bagaço de Cana	Carvão Vegetal
PCS (MJ/kg)	16,80	19,38	35,04
PCI(MJ/kg)	16,36	18,73	31,72

O carbono da biomassa pode ser determinado sendo o que está disponível para o processo, ou seja a porcentagem de carbono fixo já apresentada na massa seca, a área do plantio é determinada pelo carbono da biomassa e pela quantidade injetada, 100kg/t gusa como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros auxiliares na comparação das biomassas

PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO			
	Capim Elefante	Bagaço de Cana	Carvão Vegetal
Massa Seca (t/ha/ano) ⁽¹⁶⁾	31,50	22,00	10,39
Carbono da Biomassa (t/ano)	2,646	3,300	4,516
Área de Plantio (ha/ano)	0,037	0,030	0,022
Ciclo Produtivo (anos) ⁽¹⁷⁾	0,5	1	7
Carbono Assimilado (t/ha/ano) ⁽¹⁶⁾	19,3	9,9	7,88

3 DISCUSSÃO

Podemos verificar que o carvão vegetal possui teores de carbono elementar e também de carbono fixo acima das demais tendo este como grande diferencial, as composições do capim elefante e do bagaço de cana têm valores aproximados. Podemos ver que o volume dos gases gerados é maior para capim e cana. Como mostrado por Sanches⁽¹¹⁾ os vapores e gases são compostos pela umidade, oxigênio, nitrogênio e parte do carbono e o carbono fixo consiste parte da fração combustível.

Os poderes caloríficos como sendo diretamente dependentes da composição química seguem a mesma base tendo o carvão vegetal vantagem sobre as demais biomassas. Neste ponto o capim tem os piores resultados.

Os demais parâmetros mostram-se equilibrados entre a utilização das diferentes biomassas, tendo o capim elefante vantagem sobre a cana de açúcar e esta sobre o eucalipto quanto a produção de massa seca por ano, isso ocorre devido ao menor

ciclo produtivo. Este é um parâmetro importante já que ciclos menores geram melhor fluxo de caixa e retorno financeiro mais rápido além do fato de que com menores ciclos produtivos podem estabilizar melhor a relação entre combustível consumido e produzido, diminuindo a necessidade de grandes estoques.

Um fator importante é a quantidade de carbono assimilado, pois este é fundamental para a redução de emissões de carbono já que a composição dos gases do Alto-forno ficam próximos de 20% de CO₂ e 25% de CO como apresentado por Machado,⁽⁶⁾ lembrando que na reutilização do gás todo o CO é convertido em CO₂. Desta forma podemos ver que as emissões por parte da siderurgia são bem lineares enquanto o carbono que é assimilado pelas biomassas tem valores diferentes, essa constatação nos leva a crer que o capim elefante tem maior potencial para a redução de emissões.

Com a utilização de coque esse saldo de carbono assimilado removido da atmosfera não se apresenta. Nesse sentido podemos ver grandes vantagens do capim que anualmente supera o carvão vegetal em questão de sua produção captar carbono da atmosfera, possibilitando a geração de créditos de carbono.

A quantificação dos Gases do Efeito Estufa liberados pelas biomassas também é importante, esses estudos levam em conta todo o ciclo produtivo da biomassa, considerando o trabalho mecânico e os insumos gastos assim como as emissões destes processos. Nesse sentido valores para o capim elefante não se encontram disponíveis já que esta espécie começou a ser estudada a pouco tempo em comparação com as demais.

Considerando-se especificamente a produção do alto-forno sem injeção, as emissões de carbono são relevantes, pois na produção de uma tonelada de ferro gusa, utilizando carvão mineral, são emitidos 1613 kg de dióxido de carbono (CO₂), 7,2 kg de dióxido de enxofre (SO₂) além de retirar da atmosfera 701 kg de oxigênio (O₂) e consumo de carbono de 400 kg/ t gusa. O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil produz de bagaço de cana em média 45,0 t / hectares / ciclo e o cultivo seqüestra 145,3 t CO₂ / hectares / ciclo. Desta forma para injeção entorno de 100 kg de bagaço de cana / t gusa para um ciclo de plantio e com índice de substituição de 0,75 de coque por bagaço de cana injetado. O resultado referente à injeção de bagaço de cana proposto pode chegar a um seqüestro de 323 kg de CO₂ / t gusa. Um percentual entorno de 25% do CO₂ gerado na produção de uma tonelada de ferro gusa. Levando em consideração que o mercado europeu (EU) de *commodities* de "C" praticou, em média em 2012, o valor do crédito de carbono de € 5,7 euro por tonelada de CO₂ seqüestrado, reduz € 1,84 euros / t gusa.

4 CONCLUSÃO

A utilização das biomassas injetadas no Alto-forno apresentam-se como excelente alternativa para a redução das emissões de carbono na siderurgia.

O carvão vegetal, apesar de ter crescimento lento e grande ciclo produtivo é o que apresenta as melhores condições de combustão e que tem a tecnologia mais desenvolvida.

O bagaço de cana tem boa disponibilidade nos estados produtores e caracteriza-se por boa estabilidade composicional tendo a vantagem de ser subproduto e a desvantagem de ser utilizado em outro processo, gerando concorrência.

O capim elefante é a espécie que assimila a maior quantidade de carbono, tem menor ciclo produtivo e maior produção de massa seca mostrando o seu uso o de melhor fluxo de matéria prima.

A utilização combinada das diferentes biomassas pode ser a chave para aliar as boas características produtivas do carvão juntamente com a maior captura de carbono do capim elefante reduzindo as emissões, gerando ganhos ambientais e econômicos com a obtenção de créditos de carbono.

Agradecimentos

A EcoEnvirox e a Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto pela possibilidade de realização da pesquisa.

REFERENCIAS

- 1 ASSIS, P.S. et all. Curso de Injeção de materiais pulverizados em altos-fornos. *ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais*, 2006.
- 2 COSTA, W.L.S E BOCHI, M.L.M. Aplicações do Bagaço de cana-de-açúcar utilizados na atualidade. *Fatec*, São Paulo, 2012.
- 3 EMBRAPA. Potencial do Capim Elefante para Produção de Energia Renovável. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2012/potencial-do-capim-elefante-para-producao-de-energia-renovavel>. Acessado em 27 de maio de 2013.
- 4 MACHADO, M.L.P., SOBRINHO, V.P.F.M. E ARRIBENE, L.F. Siderurgia Para Não Siderurgistas. *ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais* Vitória - ES :, 2003.
- 5 DE CASTRO, L.F.A., TAVARES, R.P. E MORELATO, A.P.. Injeção de Carvão Pulverizado nas Ventaneiras do Alto-forno. *UFMG*, Belo Horizonte, 1997.
- 6 MACHADO, M.L.P.. Siderurgia da matéria prima ao aço laminado. : *CEFET-ES* Vitória - ES, 2006.
- 7 CAVALIERO, C.K.N.. Redução das Emissões de CO₂ do Segmento Siderúrgico Nacional e do Estado de São Paulo Através da Injeção de Combustível Auxiliar em Auto Forno: Estudo de Casos ACESITA e COSIPA. *UNICAMP*, Campinas - SP, 1998.
- 8 SOUZA, J.T.. Balanço da Emissão de Carbono em uma Unidade de Carvoejamento no Município de Seropédica, *UFRRJ*, RJ. Seropédica – RJ, 2008.
- 9 EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas. Balanço Energético Nacional 2010 - Ano Base 2009. *EPE*, Rio de Janeiro - RJ, 2010.
- 10 GOVERNO FEDERAL. Plano Nacional Sobre Mudança do Clima - PNMC. Decreto nº 6263 de 21 de novembro de 2007. *Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima*, 2008. Versão de Consulta Pública.
- 11 SANCHEZ, C.G.. IM 351 - Tecnologia da Combustão. *UNICAMP*, Campinas - SP, 2002.
- 12 MAZZARELA, V.N.G.. Capim Elefante como Fonte de Biomassa para a Siderurgia. [Slide] *IPT*, Ouro Preto - MG, 2006.
- 13 MACHADO, F.S.. Aproveitamento Energético de Finos de Carvão em Alto-forno, Visando Redução de Emissões e Obtenção de Créditos de Carbono. Tese de Doutorado. *UFRRJ*, Seropédica 2009.
- 14 LEÃO, R.F.V.. Utilização de capim elefante como substituto do carvão mineral nas ventaneiras de altos-fornos. *UFOP*, Ouro Preto - MG, 2011.
- 15 MACHADO, J., OSÓRIO, E. E VILELA, C.F.A.. Avaliação Reatividade do Carvão Vegetal, Carvão Mineral Nacional e Mistura Visando a Injeção em Altos-Fornos. *UFRGS*, Porto Alegre – RS, 2011.
- 16 MAZZARELA, V.N.G. Capim-Elefante como Fonte de Energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas. *IPT*, Rio de Janeiro – RJ, 2007.
- 17 MAZZARELA, V.N.G. Capim elefante: a energia renovável moderna. Disponível em <http://www.capimelefante.org/perguntas-frequentes/p9>. Acessado 07 de maio de 2013.