

## CONTROLE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PARA SIDERURGIA

Anna Carolina Silvestre Picancio - Departamento de Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Viçosa

Crismeire Isbaex - Departamento de Engenharia Florestal Universidade Federal de  
Viçosa

Márcio Lopes da Silva - Departamento de Engenharia Florestal Universidade  
Federal de Viçosa

Thiago Taglialegna Salles - Departamento de Engenharia Florestal Universidade  
Federal de Viçosa

Lyvia Julienne Sousa Rêgo - Departamento de Engenharia Florestal Universidade  
Federal de Viçosa

Liniker Fernandes da Silva - Departamento de Engenharia Florestal da Universidade  
Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

### Resumo

### Resumo

O objetivo geral desse trabalho foi estudar a aplicação da metodologia de gestão por processos, na produção de carvão vegetal, visando a melhoria da qualidade. Em uma empresa que possui unidades de carbonização para produção de carvão vegetal para siderurgia, foram analisados dados relativos aos indicadores de desempenho, diferenciando-os em itens de controle e itens de verificação, por meio de gráficos sequenciais, de acordo com os limites de especificação determinados pelo cliente e aplicado o gráfico de Pareto como ferramenta de gestão. Para a maioria dos itens de controle, o processo possui falhas e não atende às especificações do cliente.

**Palavra-chave:** Controle de qualidade; itens de controle; especificação do cliente.

## Abstract

The research aimed to study the application of the methodology of process management in the process of charcoal production in order to contribute to the improvement of quality. In a company that has carbonization units with production of charcoal for the steel industry, were analyzed on performance indicators, differentiating them into control items and check items. For control items, sequential plots were constructed according to the specification limits determined by the client and application of Pareto graphic as a management tool. For most control items, the process has flaws and the process does not meet customer specifications. **Key-words:** Quality control; control items; customer specification.

## Introdução

O setor florestal contribui de forma significativa para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, bem como para a geração de emprego e renda. Em 2014, o número de empregos mantidos de forma direta pelo setor de florestas plantadas foi na ordem de 610 mil (IBÁ, 2015). Além do potencial florestal, o Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de minério de ferro, é um dos poucos países no mundo a manter uma siderurgia com base no carvão vegetal como redutor. Desta forma, as pesquisas para esses setores trouxeram inúmeros avanços tecnológicos, porém, poucos estudos se dedicaram ao uso das tecnologias de gestão voltado para a produção de carvão vegetal.

Mesmo com toda riqueza mineral e condições edafoclimáticas que credenciam um alto incremento volumétrico de madeira por ano, o Brasil não ocupa as cinco primeiras posições no ranking mundial de produção de aço. Entretanto, o País está na primeira posição na América Latina em produção de aço bruto, onde contribui com 51,8% da produção siderúrgica. Em 2014, a produção foi na ordem de 33.897 milhões de toneladas (Instituto do Aço, 2015).

Minas Gerais é o estado que atualmente detém a maior concentração de riquezas minerais e a maior área de florestas plantadas do Brasil. Essa situação fez florescer um grande parque metalúrgico formado pelas indústrias de ferro-gusa, aço

e ferro-ligas, que são grandes consumidores de carvão vegetal. Entretanto, a grande dificuldade encontrada por esses consumidores está relacionada a heterogeneidade do produto devido a falta de domínio das variáveis do processo de produção florestal e de carbonização, o que resulta em produtos com qualidades diferenciadas.

Deste modo, para que o carvão vegetal continue a ser mais competitivo que o coque dentro do contexto da siderurgia, é necessário que haja mudanças em conjunto de ações operacionais, centradas e focalizadas em melhorias do processo produtivo, desde a escolha do material genético apropriado para a produção de carvão até a otimização do processo siderúrgico. Uma das formas de melhorar este relacionamneto entre fornecedor e consumidor é por meio de aplicação de metodologias gestão da qualidade ou gestão da qualidade total (Faria et al., 2008).

No entanto, ter uma gestão de qualidade não significa apenas o controle de produção, qualidade intrínseca de bens e serviços, aplicações isoladas de ferramentas, métodos de gestão ou uma assistência técnica apropriada. Numa visão mais ampla, os conceitos associados a gestão da qualidade total, passam a significar modelos de gestão que busca a eficiência e a eficácia organizacionais (Isnard et al. 2012).

A gestão da qualidade total determinada por Shewhart (1930), e aperfeiçoada por Deming (1990), faz parte do ciclo de melhorias do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) ou *Shewhart PDCA Cycle*. O ciclo do PDCA foi definido como um ciclo estatístico de controle dos processos pela facilidade de aplicar em qualquer tipo de gerenciamento de processos ou de problemas, com o propósito da melhoria contínua dos resultados (Campos 1996). Portanto, o uso de indicadores, itens de verificação, especificação e o gráfico de pareto podem ser usados para o levantamento dos problemas de qualidade e direcionar as ações corretivas sob as diferenças encontradas (Werkema, 2006).

Estudos apontam que a qualidade do carvão vegetal almejada pela siderurgia possui relação direta com as características intrínsecas da madeira e do controle do processo de carbonização (Mendes et al., 1982; Santos et al., 2011; Carneiro et al., 2011). Quando destinado à siderurgia é desejável materiais genéticos que possuem elevado valor densidade da madeira, alta concentração de lignina e de extrativos, baixo teor de minerais e fibras com parede celular mais espessa e de menor largura,

para garantir elevado rendimento dos carvões produzidos (Brito & Barrichelo, 1977; Trugilho, 2009; Neves et al., 2011). Com relação ao processo de produção fatores como a temperatura, taxa de aquecimento e pressão são os que exigem mais controle e monitoramento (Raad, 2001, Oliveira 2009, Arruda et al., 2011, Vieira et al., 2013). Estas características, por sua vez, são afetadas por diferentes fatores como o genótipo, ambiente, interação genótipo x ambiente, além da idade (Vital et al., 1985; Trugilho et al., 1996; Assis et al., 2012).

Desta forma, tendo em vista os aspectos mencionados sobre os desafios do setor siderúrgico a carvão vegetal, o objetivo desse trabalho foi identificar os principais indicadores de eficiência do processo por meio da metodologia de gestão da qualidade, com foco no processo de produção de carvão vegetal, visando contribuir para a melhoria da qualidade na empresa.

## **Materiais e métodos**

Para o presente estudo, foi selecionada uma empresa do ramo siderúrgico que possui unidades produtivas de carvão vegetal para uso próprio. A unidade de carbonização está instalada no estado de Minas Gerais e o termorreduzidor é proveniente de madeira de eucalipto.

No processo de carbonização, foram utilizados fornos do tipo retangular de alta tecnologia para atender a demanda de carvão da siderúrgica, com dimensões de (26m x 4m) e capacidade de produção de 160 mdc (metros de carvão). O ciclo do processo de carbonização foi de 12 dias, sendo 4 dias de carbonização e 8 dias de resfriamento, sendo o último dia do resfriamento para carga e descarga.

## **Análise dos itens de controle do processo**

Para levantamento dos indicadores de desempenho do processo, foram utilizados dados de análise de laboratório da própria empresa. O processo de amostragem do carvão foi realizado por meio de quatro amostras de carvão na planta de carbonização, preferencialmente em três fornos e uma carreta. Quando não havia descarga de forno ou carreta, coletou-se no monte de carvão.

Cada amostra correspondia a três tambores de 200 litros. Para compor um tambor eram necessários quatro volumes do coletor de amostras. As amostras eram

retiradas com o auxílio de uma concha coletora, onde, os quatro pontos amostrados do monte de carvão representaram os pontos de carbonização dentro do forno, ou seja, amostras que continham tanto carvão das pontas do forno quanto da parte central.

Para a análise dos indicadores, foram utilizados os dados referentes ao período de janeiro a novembro de 2010. Foram utilizados dados de apenas uma unidade de produção da empresa, totalizando uma base de 71 dados, onde cada um é a média de três repetições. Os itens de controle eram referentes às seguintes características de qualidade do carvão: densidade à granel (kg/mdc); resistência mecânica (%); umidade (%); materiais voláteis (base seca); carbono fixo (base seca); cinzas (base seca); percentual de finos (% do peso) e percentual de finos (% do volume), e ainda informações sobre o processo de produção (dias de secagem, dias de carbonização e dias de resfriamento).

Para cada análise dos itens de controle foram utilizados gráficos sequenciais, onde foram plotados os dados com o limite superior e inferior de especificação da qualidade do carvão e a porcentagem dos dados observados fora dos limites de especificação (% FLE). Os limites de especificação foram fornecidos pela empresa, os quais são referências determinadas pelo cliente do processo, nesse caso, as siderúrgicas.

Os gráficos sequenciais permitiram visualizar a distribuição dos dados ao longo do tempo e entre os limites de especificação. Para cada item de controle, foi calculado o percentual de dados fora dos limites de especificação. Para isso, foi levantado o percentual dos resultados, das 71 amostras, que não estavam dentro dos limites superior e inferior de especificação.

O diagrama de Pareto é uma ferramenta que auxilia o gestor a ter uma visão global do problema, de forma que seja possível apontar quantitativamente as causas mais significativas, em ordem decrescente e estratificada. Além disso, é uma das ferramentas mais eficientes para identificar e visualizar os itens de impacto e comparar o antes e depois do problema (Werkema, 2006). Desta forma, foi utilizado o diagrama para identificar quantitativamente as causas mais significativas, em sua ordem decrescente, que permite visualizar e reconhecer as causas ou problemas mais relevantes, possibilitando a centralização de esforços sobre os mesmos.

## Resultados e discussão

### Análise dos itens de controle do processo

A seguir serão apresentados os itens de controle do processo de carbonização que possuem maior impacto dentro do processo siderúrgico. De maneira geral, a densidade à granel, resistência mecânica, carbono fixo e cinzas, umidade, materiais voláteis e finos são propriedades que influenciam na performance dos equipamentos de redução (Oliveira & Almeida, 1980).

Na Figura 1, foi observado que 100% dos dados de densidade aparente estavam fora dos limites de especificação do cliente (FLE). Essa defasagem pode acontecer devido a baixa amostragem, uma vez que esta propriedade não possui interesse prático na usina (Gomes & Oliveira, 1980).

Por outro lado, ao verificar o valor referente à densidade a granel, 83% dos dados estavam fora dos limites de especificação, conforme letra B. Isso mostra como é importante levar em consideração a densidade da madeira na etapa de escolha da espécie e otimização dos processos de carbonização, uma vez que o cliente, almeja um carvão com densidade entre 220 a 280kg/m<sup>3</sup>. Além disso, ao analisar o comportamento da resistência mecânica, foi possível observar que apenas 10% estavam fora dos limites de especificação do cliente, sendo que, o limite superior era de 100% e um limite inferior de 70%.

Já em relação aos indicadores de finos (%) de volume, o limite superior de especificação em 12%, mostrou que 52% estavam fora dos limites de especificação do cliente, conforme letra D. Do mesmo modo, ao analisar a distribuição dos dados com relação ao indicador finos (%) de peso, onde, o limite superior de especificação era de 16%, verificou-se que, 39% estavam fora dos limites de especificação do cliente. Um dos motivos para a geração de finos é a friabilidade do carvão proveniente de choque térmico que ocorre durante o processo de carbonização, choque mecânico quando submetido a teste de resistência, umidade elevada e/ou alto teor de voláteis e grandes diâmetros (Carneiro et.al. 2013).

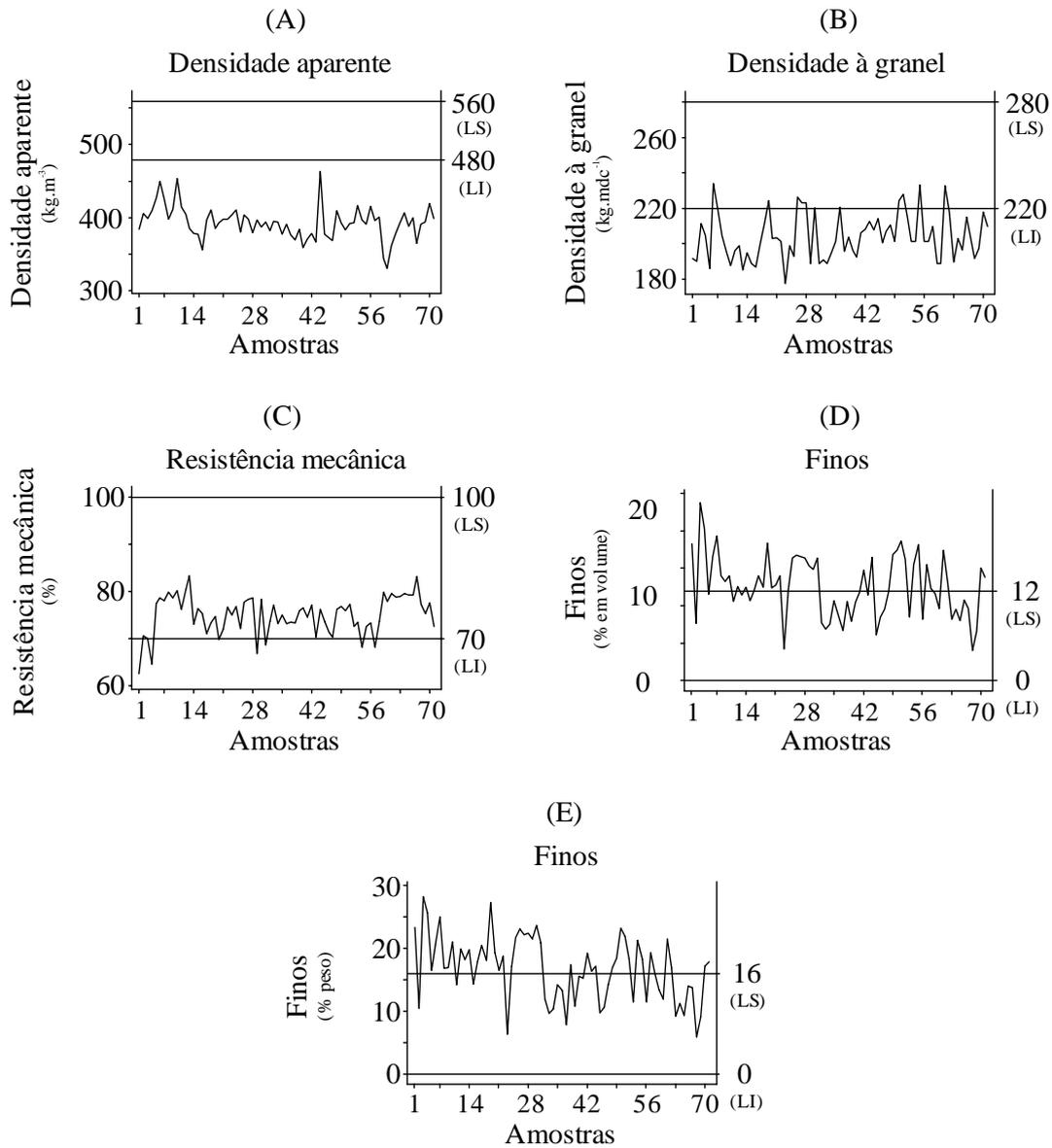


Figura 1 – Itens de controle observados para o processo de produção de carvão vegetal - maior impacto na siderurgia. (A) Gráfico sequencial da densidade aparente; (B) Gráfico sequencial da densidade à granel; (C) Gráfico sequencial da resistência mecânica; (D) Gráfico sequencial de Finos (% em volume); (E) Gráfico sequencial de finos (% peso).

Figure 1 - Control Items observed for charcoal production process - greater impact on the steel industry. (A) Graphic sequential of apparent density; (B) Graphic sequential of density bulk; (C) Graph sequential of mechanical strength; (D) Graphic sequential of thin (% by volume); (E) Graphic sequential of thin (weight%).

Na Figura 2, ao analisar a porcentagem de carbono fixo e material voláteis, 46% e 49% dos dados estavam fora do limite de especificação, respectivamente, conforme letras A e B. No entanto, maiores teores de materiais voláteis significam menores teores de carbono fixo, o que proporciona menor rendimento gravimétrico

devido a degradação a baixas temperaturas, comprometendo a eficiência do carvão vegetal no alto forno (Vital et al., 2013).

Além disso, para o indicador de porcentagem de cinzas, 20% estavam fora dos limites de especificação do cliente (letra C). O indicador de porcentagem de umidade atendeu as expectativas do cliente por não apresentar um carvão com porcentagem de umidade superior a 8%. Esse comportamento pode estar associado à época do ano, onde no inverno, o regime de chuvas e a umidade do ar são relativamente baixas.

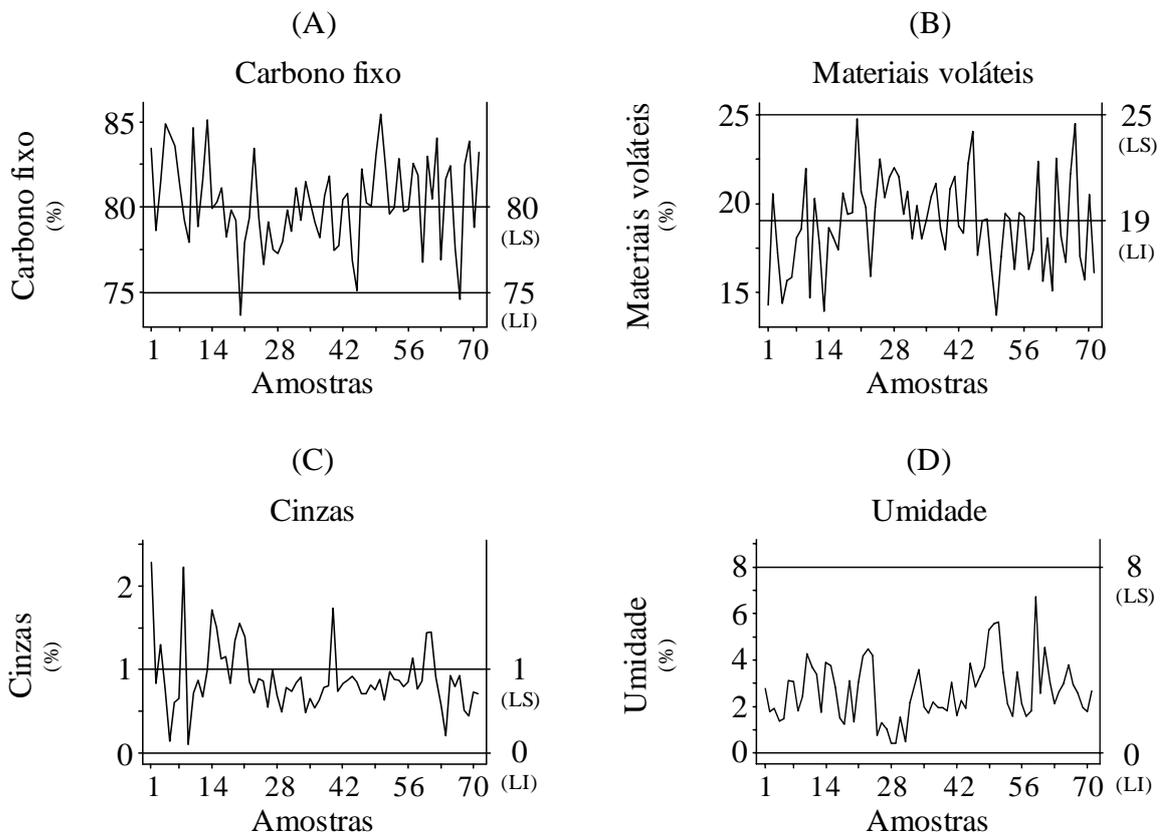


Figura 2 – Itens de controle observados para o processo de produção de carvão vegetal - maior impacto na siderurgia. (A) Gráfico sequencial de carbono fixo; (B) Gráfico sequencial de materiais voláteis; (C) Gráfico sequencial de cinzas; (D) Gráfico sequencial da umidade (%).

Figure 2 - Control Items observed for charcoal production process - greater impact on the steel industry. (A) Graphic sequential of fixe carbon; (B) Graphic sequential of volatiles materials; (C) Graphic sequential of gray (D) Graphic sequential of moisture (%).

Após analisar o enquadramento dos dados, utilizou-se o gráfico de pareto para identificar e classificar os itens de controle de qualidade do carvão que apresentaram maiores índices de não conformidade. A Figura 3 mostra que essa

ferramenta auxiliou na visualização dos percentuais de não conformidade de cada item de controle em relação ao total e apontou a priorização dos itens de controle a serem analisados.

Na ordenação das causas de perdas que devem ser sanadas, observou-se que a maior concentração de falhas estão relacionadas com a densidade a granel e a densidade aparente, com 130 dados falhos. Para a siderúrgica os itens de controle de maior importância são a densidade à granel, porcentagem de finos, carbono fixo e cinzas uma vez que interferem na eficiência do alto forno.

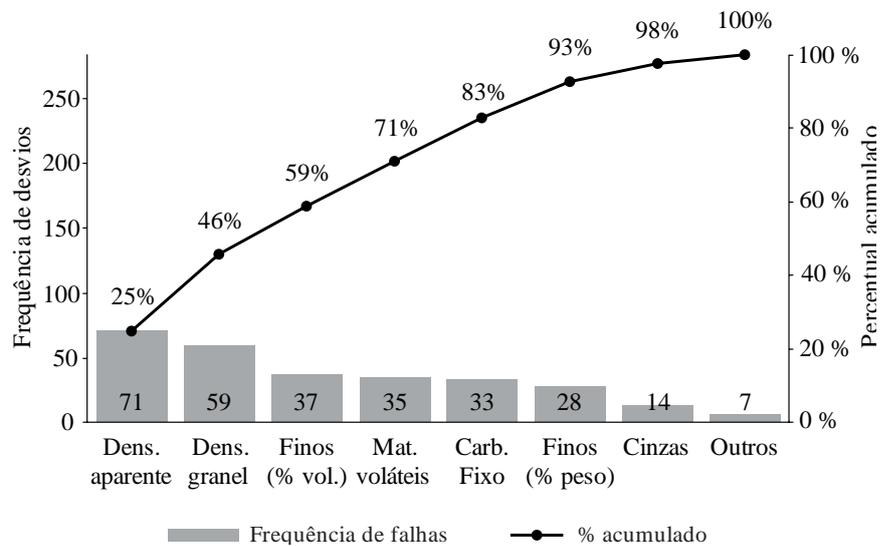


Figura 3- Gráfico de Pareto com o percentual de não conformidade de cada item de controle de qualidade do carvão.

Figure 3 - Pareto graphic with the percentage of non-conformity of each control item of the charcoal quality.

A qualidade do carvão é influenciada pelas características intrínsecas da madeira e pela tecnologia empregada no processo de pirólise lenta, o que torna o carvão vegetal um produto heterogêneo, devendo, portanto, considerar as diferentes propriedades e suas variações nas diversas utilizações (Vale et al., 2001; Lobão et al., 2004; Pimenta, 2013).

Para obter um carvão vegetal com propriedades essenciais para uso siderúrgico, se faz necessário buscar características desejáveis na origem da matéria-prima, por meio da produtividade florestal, densidade básica elevada, produção de massa seca alta, composição química (lignina, extrativos e minerais), qualidade da lignina (Siringil/Guaiacil), qualidade das fibras (anatomia), poder calorífico, teor de umidade e densidade energética (densidade de energia contida

em um volume fixo) (Trugilho, 2014). Além disso, o rendimento do carvão vegetal pode ser afetado de acordo com o diâmetro da madeira, tempo de secagem da madeira, unidade da madeira acima de 30%, temperatura de carbonização, taxa de aquecimento dos fornos, concentração dos componentes da madeira (hemiceluloses, celulose e lignina) e características intrínsecas da madeira (Carneiro et al., 2011).

Segundo Trugilho et al. (1997), as características mencionadas anteriormente são consideradas índices de qualidade da madeira para a produção de carvão vegetal, pois, quando destinado à siderurgia, este deve atender a um conjunto de parâmetros de qualidade, como teores de carbono fixo acima de 75% e de cinzas abaixo de 1,5%, conforme descrito na norma PMQ 3-03 (São Paulo, 2003).

Tendo em vista os aspectos mencionados, as características essenciais do carvão vegetal destacadas pelas metálicas são: densidade de 180 a 350kg/m<sup>3</sup>, 70 a 80% de carbono fixo, 25 a 35% de materiais voláteis de 1 a 6% de umidade, 0,5 a 4% de cinzas, além de ter uma resistência mecânica entre 10 a 80 kg/cm<sup>2</sup>, quantidade de finos abaixo de 10% e faixa granulométrica entre 9 a 100 mm (Gomes, 2006; MME, 2008; Santos, 2008). Neste trabalho foi possível observar que os limites de especificação da siderúrgica, estão de acordo com a literatura. No entanto, a unidade de produção de carvão está fornecendo um produto com alta variabilidade que pode estar relacionado com o material de origem e controle de processo de carbonização.

Como já se sabe, a madeira é um material heterogêneo, que possui variações nas suas composições químicas, físicas e anatômicas. Com a densidade não podia ser diferente. Ela pode variar entre espécies e dentro da mesma espécie conforme a idade, posição na árvore, fatores genéticos e ambientais etc. (Shimoyama, 1990). Desta forma, ela pode interferir em várias etapas da carbonização, além de afetar a capacidade de produção das praças de carbonização (Vital et al., 2013).

A densidade básica da madeira está diretamente relacionada com o material que lhe deu origem e variáveis do processo de carbonização, como a temperatura e a taxa de aquecimento e com a produção de energia. Quanto maior a densidade, maior a quantidade de energia (Carneiro et al., 2014). Logo, quanto maior a densidade da madeira maior será a massa resultante presente no carvão vegetal,

influenciando diretamente nos rendimentos gravimétricos e nos teores de carbono fixo (Fontes, 1989; Vital et al., 2013). Além disso, a densidade da madeira mais elevada resulta em maiores densidades e resistência do carvão, bem como maior quantidade de massa enforada, reduzindo os custos de produção e aumentando a produtividade das unidades de produção de energia e nos altos fornos (Brito, 1993).

Dentre as diferentes densidades citadas no trabalho, em termos práticos de operação com aparelhos de redução, a mais importante é, sem dúvida, a densidade à granel, pois, esta determina o espaço útil a ser ocupado naqueles aparelhos. (Gomes & Oliveira, 1982). Quanto mais elevada à densidade do carvão vegetal, maior será a utilização do volume do alto-forno e o tempo de residência da carga metálica no equipamento, além de ser maior a capacidade de carga em termos de carbono por volume (Carneiro et al., 2013).

A unidade de produção de carvão atendeu apenas 17% da densidade a granel requerida pelo cliente. Isto mostra que os materiais genéticos utilizados não são o mais adequado para a produção de biorredutores, uma vez que, a densidade básica da madeira e a porcentagem de lignina são baixos, o que gera um carvão de baixa densidade. Com a evolução do melhoramento genético e a implantação do *Eucalyptus sp.*, isto foi experimentado por todas as indústrias siderúrgicas a carvão vegetal devido à pressão ambiental sobre a utilização de carvão vegetal de florestas nativa (Silva & Quintão, 1991). Por outro lado, o carvão vegetal apresenta qualidade variável, em função da má distribuição da carga no forno de carbonização, heterogeneidade de diâmetros enforados, temperatura de carbonização, taxa de aquecimento do forno e má distribuição dos gases dentro do forno (Carneiro, 2011).

De acordo com Carneiro (2011), o aumento do teor de carbono fixo é resultante do aumento da temperatura final de carbonização, que é acompanhado pela redução concomitante do teor de matérias voláteis, rendimento e perda de resistência do mesmo, o que explica a grande variação dos dados do trabalho. O aumento no teor de carbono fixo com o aumento da temperatura implica em uma diminuição do rendimento do processo de carbonização (Assis et al., 1982). Além disso, o carbono fixo é responsável por aumentar o tempo de residência da carga metálica na zona de reserva térmica do alto-forno e a capacidade de carga do equipamento em termos de mais carbono carregado por volume. O carbono fixo é um

item de controle muito importante, pois, é um bom indicador da reatividade de um determinado carvão vegetal (Santos, 2008). O mesmo autor cita ainda, que a variabilidade de teores de carbono fixo e materiais voláteis podem ser provenientes da utilização de diferentes materiais genéticos e da baixa degradação térmica.

De acordo com Barcellos et al., (2005), o teor de cinzas deve ser inferior a 1%, inerente à espécie, níveis de adubação ou pode indicar contaminação do carvão com resíduos do solo que pode reduzir o poder calorífico superior do carvão vegetal (Frederico, 2009). A presença de cinzas no carvão vegetal deve ser a mínima possível, pois além de reduzir o seu poder calorífico, causa desgaste no alto forno e pode comprometer a qualidade do ferro gusa, devido ao fenômeno da segregação (Santos 2008). No processo siderúrgico, as cinzas possuem efeito calatizador na reação C – CO<sub>2</sub> devido à presença dos óxidos metálicos CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O e MgO (Matos e Rios, 1982).

Quanto à porcentagem de finos, o carvão vegetal é vulnerável durante sua produção manuseio e utilização, ao passar por um processo de degradação provocada pela abrasão e queda. Durante o manuseio do carvão, desde a produção até sua entrada no alto-forno, são gerados em torno de 25%, em peso, de finos abaixo de 10 mm. Estes 25% de finos, estão distribuídos nas etapas de carbonização (3,7%), carregamento e transporte (5,3%), peneiramento (9,7%) e armazenagem (6,3%). Esse valor citado foi acima dos limites de especificação da usina que era de 16% (Oliveira, 1977).

Uma das razões da porcentagem de geração de finos, em peso e volume, estão relacionadas com a granulometria. De acordo com Gomes & Oliveira (1980), quanto maior a granulometria média do carvão, maior é a porcentagem de finos gerados. Essa relação entre porcentagem de finos e faixa granulométrica pode ser discutida em termos de estabilidade do carvão, sob o ponto de vista de abrasão. O carvão em faixas granulometrias mais baixas é mais estável, o que o leva a gerar menos finos que carvões em faixas granulométricas maiores. Além disso, altos teores de umidade da madeira enforada provocam rupturas devido a altas velocidades de expansão de gases; grandes diâmetros gera carvões mais quebradiços e taxa mais elevadas de aquecimento aumentam a formação de trincas no carvão, deixando-o friável e com baixo rendimento (Cardoso, 2010).

A siderurgia exige menores quantidades de finos, pois, ao atingir o cadinho impedem a passagem do ferro e escória líquidas, provocando o aumento na frequência de corridas e variações na composição química e temperatura do gusa. Além disso, o acúmulo de finos na frente das ventaneiras mudam sua forma. Esta mudança acarreta uma mudança na zona de coesão e na permeabilidade do alto forno aumentando as perdas térmicas devido a irregularidades na remoção da escória e gusa (Assis, et. al., 1982).

## **Conclusão**

Para a maioria dos itens de qualidade do carvão (itens de controle) e o processo de carbonização não está atendendo às especificações do cliente.

Por meio da ferramenta de qualidade foi possível observar as falhas na escolha de materiais genéticos e no processo de carbonização pois, a maioria dos dados estavam fora dos limites de especificação do cliente.

A metodologia de gestão por processos permitiu a avaliação, análise e identificação de pontos que devem ser melhorados nas futuras tomadas de decisão da empresa em relação ao gerenciamento do processo de produção.

## **Referencias bibliográficas**

ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; ACOSTA, F. C. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. 2011. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n. 4, p. 949-955, 2011.

ASSIS, M. R. de; PROTÁSIO, T. de P.; ASSIS, C. O. de.; TRUGILHO, P. F.; BARBOSA, E. F. Gerência da qualidade total na educação. Belo Horizonte, MG. Escola de Engenharia da UFMG, Fundação Christiano Ottoni, 1994. 36 p.

BRITO, J. O. ; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: i. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, Piracicaba. n.14, p.9-20, 1977.

BRITO, J. O. et al. Reflexos sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. Piracicaba: IPEF, 1993 (Circular Técnico, 181).

CAMPOS, V. F. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. Belo Horizonte:

Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996.

CAMPOS, V. F. TQC: Controle de qualidade total (no estilo japonês). Belo Horizonte, MG. Fundação Christiano Ottoni. Escola de Engenharia da UFMG, 1992. 229 p.

CARDOSO, M. T. Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira. 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARNEIRO, A. C. O.; BARCELLOS, D. C.; SANTOS, R. C. Treinamento carvão vegetal: apostila teórica e prática. Viçosa-MG, 2011. 129p.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C. Pirólise lenta da madeira para a produção de carvão vegetal. In: SANTOS, F.; COLODETE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia e biorrefinaria – Cana-de-açúcar e espécies florestais. Viçosa-MG: Super Gráfica e Editora Ltda. 2013. 429-457p.

DEMING, W. E. Qualidade: a revolução da administração. São Paulo: Marques Saraiva, 1990.

FARIA, A. F.; MOTA, E. M.; VIEIRA, J. G. V. Gestão por processos aplicada em uma incubadora de empresas de base tecnológica. IV Emepro - Encontro Mineiro de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG. 2008.

FONTES, P. J. P. Produção de carvão vegetal com oito espécies florestais da região amazônica em forno metálico. Brasília. IBAMA/DIRPED/LPF. 1989, 21p. (Série Técnica, 10).

FREDERICO, P. G. U. Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 2009. 75f. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

GOMES, M. T. M. Potencialidades de inserção do carvão vegetal em bolsas de mercadoria. 2006. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

- GOMES, P. A. & OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. In: Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: CETEC. 27- 41p. 1980.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Relatório do IBÁ 2015. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf). Acesso em 28 abr. 2016.
- INSTITUTO DO AÇO. Anuário Estatístico 2015. Disponível em: [http://www.acobrasil.org.br/temp/Anuario\\_2015.pdf](http://www.acobrasil.org.br/temp/Anuario_2015.pdf). Acesso em: 16 mar. 2016.
- ISNARD, M. J.; ROCHA, A. V. R.; MOTA, E. B.; QUINTELLA, O. M. Gestão da qualidade e processo. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2012.
- LOBÃO, M. S.; LÚCIA, R. M. D.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.
- MATOS, M., & RIOS, C. A. Reatividade do carvão vegetal. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC. 92-111p. 1982.
- MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Belo Horizonte, 1982. Iv. (Série de Publicações Técnicas, 8.). 357p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Balanço Energético Nacional 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acessado em: 16 mar. 2016.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.
- OLIVEIRA, J. C. Análise econômica do carvão vegetal. In: SEMINARIO SOBRE O CARVÃO VEGETAL. Belo Horizonte, BDMG, 29-30 ago. 1977 (patrocínio do IBS, ABM e BDMG).
- OLIVEIRA, R. L. M. Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. 2009.
- PIMENTA, A. S. Carbonização. Curso de Produção de Carvão Vegetal. Universidade Federal de Viçosa. Laboratório de Painéis e Energia da Madeira. 94pg. 2013.
- RAAD, T. J. Instrumentação e controle de processo de carbonização dos fornos industriais da V & M Florestal. Anais...1 Congresso Internacional de uso da

biomassa plantada para a produção de metais e geração de eletricidade., Belo Horizonte, Brasil, 8-11 outubro, 2001.

SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302. 2012.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SANTOS, R. C. dos; CARNEIRO, A. de C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M. de.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

São Paulo (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Resolução SAA nº 10, de 11 de julho de 2003. Norma de padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal, como base para certificação de produtos pelo Sistema de Qualidade de Produtos Agrícolas, Pecuários e Agroindustriais do Estado de São Paulo, instituído pela Lei 10.481-9. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, 2003. v. 113 (129).

SHIMOYAMA, V. R. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp. 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, M. A. M. e; QUINTÃO, M. A. Especificação de carvão vegetal e seu efeito na operação de alto forno. In: BRAGA, R. N. B. Carvão vegetal: Produção propriedades e aplicações na siderurgia. Associação Brasileira de Metais – ABM, Belo Horizonte. 1991. 184-211p.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.33, n.5, p.1228-1239, 2009.

TRUGILHO, P. F. Matéria Prima para Produção de Carvão Vegetal e Aproveitamento Energético de Resíduos Florestais. Fórum Nacional sobre Carvão vegetal. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://www.sif.org.br/evento/forum-nacional-sobre-carvao-vegetal>. Acesso em: 10 mar. 2016.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. Cerne, Lavras, MG, v. 2, n. 1, p. 94-116, 1996.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. Revista Árvore, Viçosa, v. 21, n. 2, p 259-267, 1997.

VALE, A. T.; COSTA, A. F.; GONÇALVES, J. C. e NOGUEIRA, M. Relações entre densidade básica da madeira e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. Revista Árvore, v.25, n. 1, p.89-95, 2001.

VIEIRA, R. S.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; et al. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. Cerne, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, 2013.

VITAL, B. R.; BASTOS FILHO, J. G.; VALENTE, O. F. Efeito da idade da árvore sobre o rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo de carvão de *Eucalyptus*. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 9, n. 2, p. 180-185, 1985.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira para fins energéticos. In: SANTOS, F.; COLODETE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia e biorrefinaria – Cana-de-açúcar e espécies florestais. Viçosa-MG: Super Gráfica e Editora Ltda. 2013. 322-354p.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte, MG. Werkema Editora, 2006. 302 p.