

**UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**Utilização de tanino e derivados ligno-celulósicos na preparação de areias
de fundição e de briquetes de resíduos vegetais**

João Carlos de Mello Barbosa

2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**UTILIZAÇÃO DE TANINO E DERIVADOS LIGNO-CELULÓSICOS NA
PREPARAÇÃO DE AREIAS DE FUNDIÇÃO E DE BRIQUETES DE
RESÍDUOS VEGETAIS**

JOÃO CARLOS DE MELLO BARBOSA

*Sob a orientação do Professor
Dr. Roberto Carlos Costa Lelis*

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Janeiro de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

JOÃO CARLOS DE MELLO BARBOSA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 13/01/2009

Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Sérgio Sodré da Silva. Prof. Dr. UFF

Alexandre Monteiro de Carvalho. Prof. Dr. UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pelo apoio, sempre me fortalecendo nos momentos de angústia e desânimo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pela oportunidade.

Ao meu Pai, João Maria Barbosa (in memorium) e à minha Mãe, Helen de Mello Barbosa, pelo carinho e incentivo de sempre, em todas as etapas da minha vida.

Aos meus filhos Fernanda Stivanin Barbosa e Eduardo Stivanin Barbosa, que me deram força para que voltasse a estudar e concluir esta etapa.

Aos meus irmãos Renato de Mello Barbosa e Carlos Henrique de Mello Barbosa, e respectivas esposas, que sempre me apoiaram nas horas mais difíceis.

À minha esposa, Márcia Aparecida Generoso Fortunato de Mello Barbosa, pelo amor e ajuda na elaboração deste trabalho.

Ao meu Orientador, Prof. Roberto Carlos Costa Lelis, pelos anos de orientação e pela chance de subir mais este degrau.

Aos meus amigos Daniel Chalita, Joelma Nascimento e Cláudio Rocha Lopes pelos momentos alegres que passamos juntos.

Aos meus grandes amigos e colegas de trabalho Francisco Júlio Diniz, Dalva Diniz, Verônica Anchieta, Allan Bittencourt e Rafael Nascimento, a quem desejo toda a sorte deste mundo.

E, finalmente à Universidade Federal Fluminense, que me liberou parcialmente para que eu pudesse concluir este Curso.

RESUMO

BARBOSA, João Carlos de Mello. **Utilização de tanino e derivados ligno-celulósicos na preparação de areias de fundição e briquetes de resíduos vegetais**. 2009.72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2009.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização de tanino de acácia negra e de derivados lignocelulósicos na preparação de areias de fundição, bem, como avaliar a utilização dos taninos como aglomerante para confecção de briquetes de resíduos vegetais. O trabalho foi dividido em dois capítulos, constituindo experimentos distintos. No primeiro capítulo foram utilizados o tanino e a celulignina como constituintes de areia preparadas de fundição para a fabricação de peças em ligas de alumínio puro ou alumínio-silício eutética (11,0 a 13,0 % de Si). No segundo capítulo, avaliou-se a utilização do tanino na obtenção de briquetes de resíduos vegetais para aplicação como fonte de energia. Os traços de areia preparada de fundição normalmente usam a argila como aglomerante e o mogul (amido de milho) com a finalidade de melhorar a resistência à compressão da areia e a trabalhabilidade do molde produzido. É prática comum a utilização do carvão mineral como elemento redutor na mistura, e assim, foram avaliados os efeitos de sua substituição pela celulignina, em função do seu teor elevado de carbono. O tanino, por suas propriedades adesivas, atuou como aglomerante em parceria com a argila, e ainda substituiu perfeitamente o melão, que é um componente da areia preparada de Fundição, obtendo-se bons resultados na análise das resistências, gerando moldes de bom aspecto visual e propriedades mecânicas adequadas. Na confecção dos briquetes, foi utilizada serragem obtida em serraria que processa madeira de eucalipto. O tanino demonstrou grande afinidade com a água na composição da mistura padrão para a briquetagem. Na briquetagem, foi utilizada a serragem in natura, sem qualquer tipo de beneficiamento. Os resultados revelaram que o tanino mostrou-se efetivo na fabricação de briquetes, onde atuou como elemento de adesão entre as partículas de serragem.

Palavras chave: acácia, celulignina, serragem, eucalipto, briquetagem.

ABSTRACT

BARBOSA, João Carlos de Mello. **Utilization of tannin and lignocellulosic derivatives in the preparation of foundry sands and vegetable residue briquettes**. 2009. 72f. Dissertation (Master's Degree in Forestry and Environmental Science). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2009.

The general goal of this work is to evaluate the possibility of utilizing tannin from black wattle and lignocelulosic derivatives in the preparation of foundry sand, as well as to evaluate the utilization of tannins as glueing for the confection of briquettes of vegetal residues. The work has been divided into two chapters, which comprise distinct experiments. In the first chapter tannin and cellulignin were used as constituents of foundry sand for the fabrication of pieces of pure aluminum alloy or aluminum-silicon eutectic alloy (11,0 a 13,0 % of Si). In the second chapter the use of tannin was evaluated in the production of briquettes of vegetal residues for application as a source of energy. The traces of foundry sand normally use clay as glueing and mogul (corn starch) with the goal of enhancing the resistance to compression and workability of the mold thus produced. It is common practice the use of mineral coal as a reducing agent in the mixture, and so the effects of its substitution by cellulignin, because of its high carbon content, were evaluated. Tannin, for its adhesive properties, acted as glueing together with clay, and replaced molasses, which is a component of foundry sand, perfectly. The resistance analysis produced good results and the process will generate molds with good visual aspect and adequate mechanical properties. Sawdust obtained in a eucalyptus-processing sawmill was used in the confection of the briquettes. Tannin demonstrated great affinity to water in the composition of the standard mixture for briquetting. *In natura* sawdust, without any beneficiation, was used for briquetting. The results revealed that tannin is effective in the production of briquettes, where acted as an element of adhesion between the sawdust particles.

Key words: Black wattle, cellulignin, sawdust, eucalyptus, briquetting.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabela 1. | Exemplo de três tipos de areias usadas em fundição e suas composições químicas..... | 7 |
| Tabela 2. | Mudança progressiva da análise de materiais vegetais e Carvões durante o processo de carbonização (% em base seca sem cinzas) – (Araújo,1967)..... | 14 |
| Tabela 3. | Classificação ASTM para carvões (Araújo, 1967)..... | 14 |
| Tabela 4. | Especificação para carvão mineral (IPT,1972)..... | 15 |
| Tabela 5. | Desempenho do setor de Fundição Junho / 2008 (ABIFA,2008)..... | 18 |
| Tabela 6. | Características dos resíduos antes e depois da compactação (Quirino, 1991)..... | 21 |
| Tabela 7. | Características técnicas de briquetes de resíduos diversos (BIOMACHINE, 2006)..... | 22 |
| Tabela 8. | Composição química da madeira de coníferas e folhosas (CETEC, 1982)..... | 24 |
| Tabela 9. | Soluções tanino puro e tanino + água (valores em %) | 35 |
| Tabela 10. | Misturas usuais de Fundição (valores em %)..... | 35 |
| Tabela 11. | Ensaio com tanino puro (100 %) Traço T 1 (valores em %)..... | 36 |
| Tabela 12. | Ensaio na proporção tanino 80:20 Traço T2 (valores em %)..... | 36 |
| Tabela 13. | Ensaio com tanino 45 / 55 Traço T3 (valores em %)..... | 36 |
| Tabela 14. | Ensaio com tanino 55 / 45 Traço T4 (valores em %)..... | 37 |
| Tabela 15. | Ensaio com tanino 50 / 50 Traço T5 (valores em %)..... | 37 |
| Tabela 16. | Soluções tanino e celulignina (valores em %) | 37 |
| Tabela 17. | Misturas dos diferentes ensaios com tanino e celulignina a 4,0 % (Traço T6)..... | 38 |
| Tabela 18. | Misturas dos diferentes ensaios com tanino e celulignina a 4,5 % (Traço T7)..... | 38 |
| Tabela 19. | Misturas dos diferentes ensaios com tanino e celulignina a 6,5 % (Traço T8) | 38 |
| Tabela 20. | Misturas dos diferentes ensaios com tanino e celulignina a 8% (Traço T9)..... | 39 |
| Tabela 21. | Misturas dos diferentes ensaios com a areia para tanino 50:50 em substituição ao melão | 40 |
| Tabela 22. | Resultado de análise química da celulignina | 40 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabela 23. | Ensaio granulométrico da celulignina | 41 |
| Tabela 24. | Resultados do ensaio granulométrico, do tipo de grão, da umidade, da percentagem de finos e do teor de sílica da areia nova..... | 42 |
| Tabela 25. | Resultados de ensaios realizados na argila | 42 |
| Tabela 26. | Resultados da análise efetuada no mogul | 42 |
| Tabela 27. | Análise das propriedades carvão mineral | 43 |
| Tabela 28. | Ensaios com tanino puro (100 %) Traço T 1 Valores em % | 43 |
| Tabela 29. | Resultados dos ensaios com tanino | 44 |
| Tabela 30. | Ensaios na proporção tanino 80:20 Valores em % | 44 |
| Tabela 31. | Resultados de ensaios para as diferentes misturas com tanino 80:20... | 44 |
| Tabela 32. | Ensaios com tanino 45:55 Traço T3 Valores em % | 45 |
| Tabela 33. | Resultados dos ensaios das diferentes misturas com tanino 45:55 | 45 |
| Tabela 34. | Ensaios com tanino 55 : 45 T4 Valores em % | 45 |
| Tabela 35. | Resultado de ensaios das diferentes misturas com tanino 55:45 | 46 |
| Tabela 36. | Ensaios com tanino 50 : 50 – Traço 05 Valores em % | 46 |
| Tabela 37. | Resultado dos ensaios das diferentes misturas com tanino 50:50..... | 46 |
| Tabela 38. | Soluções tanino, água e celulignina | 47 |
| Tabela 39. | Mistura dos ensaios com tanino e celulignina a 4%..... | 47 |
| Tabela 40. | Resultados de ensaios das misturas com a celulignina a 4% | 47 |
| Tabela 41. | Misturas dos ensaios com tanino e celulignina a 4,5 % | 48 |
| Tabela 42. | Resultados dos ensaios das misturas com tanino e celulignina a 4,5% | 48 |
| Tabela 43. | Misturas dos ensaios com tanino e celulignina a 6,5 % | 48 |
| Tabela 44. | Resultados dos ensaios das misturas com tanino e celulignina a 6,5% | 49 |
| Tabela 45. | Misturas dos ensaios com tanino e celulignina a 8 % | 49 |
| Tabela 46. | Resultados dos ensaios das misturas com tanino e celulignina a 8%... | 49 |
| Tabela 47. | Comparação do melhor resultado (Mistura M47) com o traço usual (Mistura M3)..... | 50 |
| Tabela 48. | Valores de resistência à compressão verde, à seco, resistência ao fendilhamento, plasticidade e permeabilidade dos corpos-de-prova das diferentes misturas de areia e comparação entre os valores médios pelo teste de Scott-Knot..... | 50 |
| Tabela 49. | Misturas de tanino 50:50 em substituição ao melaço..... | 51 |
| Tabela 50. | Resultado dos ensaios das misturas do tanino em substituição ao melaço..... | 52 |
| Tabela 51. | Comparação entre as diferentes misturas com tanino e com melaço.... | 52 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabela 52. | Valores dos ensaios de resistência a compressão à verde, da resistência à compressão à seco, da resistência ao fendilhamento, da plasticidade e da permeabilidade para as diferentes misturas com tanino e com melão e comparação das médias pelo teste de Skott-Knot ao nível de 95 % de probabilidade..... | 53 |
| Tabela 53. | Soluções à base de tanino..... | 60 |
| Tabela 54. | Misturas da serragem com as soluções de tanino..... | 60 |
| Tabela 55. | Novas misturas para os ensaios nos briquetes..... | 60 |
| Tabela 56. | Misturas da serragem com as soluções de tanino..... | 62 |
| Tabela 57. | Resultados dos briquetes com as misturas de solução de tanino – T1. | 62 |
| Tabela 58. | Resultados dos briquetes com as misturas de solução de tanino -T2 ... | 62 |
| Tabela 59. | Resultados dos briquetes com as misturas de solução de tanino - T3 | 62 |
| Tabela 60. | Resultados da prensagem de briquetes de serragem e solução tanino 50:50..... | 63 |
| Tabela 61. | Força de prensagem para a mistura 95:05 – M 10..... | 64 |
| Tabela 62. | Força de prensagem para a mistura 90:10 M 11 = M 07..... | 64 |
| Tabela 63. | Força de prensagem para mistura 85:15 M 12..... | 64 |
| Tabela 64. | Força de prensagem para a mistura 80:20 M 13 = M 08..... | 65 |
| Tabela 65. | Ensaio de resistência à compressão dos diferentes briquetes..... | 65 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1. | Misturador de laboratório, com as duas mós e o funil para abastecimento de água..... | 32 |
| Figura 2. | Martetele para confecção dos corpos-de-prova das areias de fundição | 32 |
| Figura 3. | Ilustração do aparelho de ensaio de resistência. ao fendilhamento..... | 33 |
| Figura 4. | Ilustração do aparelho de ensaio de resistência à compressão | 33 |
| Figura 5. | Molde contendo o símbolo da UFF produzido com a mistura M 47, contendo tanino e celulignina.. | 51 |
| Figura 6. | Briquete de serragem considerado excelente..... | 63 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AFS - Association Foundrymen`s Standard

T - Temperatura

°C – graus centígrados

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEMP – Comissão de Estudos em Matérias Primas

RCv – Resistência à compressão à verde (úmida)

RCs – Resistência à compressão à seco (isenta de umidade)

RCq – Resistência à compressão à quente

P – Permeabilidade (Resistência à passagem de ar)

RF – Resistência ao fendilhamento

RT – Resistência à tração

U – Umidade

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Aglomerante tanino | 3 |
| 2.2 História da Fundição..... | 5 |
| 2.3 Processos de Fundição em areia | 6 |
| 2.3.1 Fundição em areia à verde - moldagem..... | 6 |
| 2.3.2 Constituintes de uma areia de fundição..... | 7 |
| 2.3.3 Escolha de uma areia nova de fundição..... | 8 |
| 2.3.4 Modelação | 9 |
| 2.3.5 Moldação | 9 |
| 2.3.6 Fusão e vazamento | 10 |
| 2.3.7 Desmoldagem, acabamento e recuperação..... | 10 |
| 2.3.8 Controle de qualidade..... | 11 |
| 2.4 Materiais constituintes das areias de fundição | 11 |
| 2.4.1 Aglomerante Argila | 11 |
| 2.4.2 Aditivo celulignina | 12 |
| 2.4.3 Mogul | 12 |
| 2.4.4 Carvão Mineral em Pó..... | 13 |
| 2.4.5 Melaço | 15 |
| 2.4.6 Óxido de Ferro..... | 15 |
| 2.5 Situação Atual do Mercado de Fundição do Alumínio | 16 |
| 2.6 A geração de resíduos..... | 18 |
| 2.7 Briquetagem e processos de compactação para formação de briquetes | 19 |
| 2.8 Material base – madeira de eucalipto | 22 |
| CAPÍTULO I | 25 |
| RESUMO | 26 |
| ABSTRACT | 27 |
| 1. INTRODUÇÃO | 28 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 2.1 Materiais Empregados na Fundição | 29 |
| 2.2 Análise das propriedades químicas da celulignina | 30 |
| 2.2.1 Análise granulométrica da celulignina | 31 |
| 2.2.2 Ensaio de Poder calorífico superior..... | 31 |
| 2.2.3 Determinação do teor de umidade (base úmida) | 31 |
| 2.3 Ensaio de areia nova, argila, mogul, óxido de ferro, tanino e carvão mineral..... | 31 |
| 2.4 Preparação de Areias de Fundição..... | 31 |
| 2.5 Ensaio de Resistência à compressão à verde (úmida) e Ensaio de Fendilhamento | 32 |
| 2.6 Ensaio de Plasticidade | 33 |
| 2.7 Ensaio de Permeabilidade..... | 33 |
| 2.8 Ensaio de moldabilidade..... | 33 |
| 2.9 Realização do processo de prensagem dos CPs | 34 |
| 2.10 Tratamentos utilizados nas areias de fundição | 34 |
| 2.10.1 Utilização do tanino como substituto parcial do aglomerante argila na preparação de areias de moldagem de fundição (Teste 1) | 34 |
| 2.10.2 Utilização da solução tanino/água em adição à celulignina em substituição ao carvão mineral (Teste 2)..... | 34 |
| 2.10.2.1 Comparação do melhor traço de celulignina com o padrão de fundições..... | 34 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Resultados dos ensaios para a celulignina..... | 35 |
| 3.1.1 Análise Química da celulignina..... | 35 |
| 3.1.2 Análise de Umidade | 36 |
| 3.1.3 Ensaio de análise granulométrica | 36 |
| 3.1.4 Poder calorífico superior | 36 |
| 3.2 Resultados da areia nova de fundição MF 45..... | 36 |
| 3.3 Resultados da argila..... | 37 |
| 3.4 Resultados do mogul | 37 |
| 3.5 Resultados do óxido de ferro..... | 37 |
| 3.6 Resultados do tanino..... | 37 |
| 3.8 Resultados dos ensaios com as misturas planejadas..... | 38 |
| 3.8.1 Utilização do tanino como substituto parcial do aglomerante argila (Teste 1) | 38 |
| 3.8.2 Utilização da solução tanino / água em adição a celulignina em substituição ao carvão mineral (Teste 2)..... | 40 |
| 3.8.2.1 Comparação entre melhor resultado obtido com a mistura padrão | 42 |
| 3.8.3 Aplicação do tanino como aditivo em substituição ao melaço (Teste 3) | 43 |
| 4 CONCLUSÕES | 45 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 45 |
| CAPÍTULO II | 46 |
| RESUMO | 47 |
| ABSTRACT | 48 |
| 1. INTRODUÇÃO | 48 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 50 |
| 2.1 Material..... | 50 |
| 2.2 Análise do teor de umidade da serragem..... | 50 |
| 2.3 Teste de moldabilidade..... | 50 |
| 2.3.1 Tratamentos para briquetes visando moldabilidade | 50 |
| 2.4 Confeção de briquetes com soluções de tanino e água..... | 50 |
| 2.5 Avaliação das propriedades dos briquetes..... | 51 |
| 2.5.1 Pesquisa da força ideal de prensagem | 51 |
| 2.5.2 Resistência à compressão das misturas | 51 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| 3.1 Umidade da serragem | 51 |
| 3.2 Análise da moldabilidade | 51 |
| 3.3 Resultados de briquetes de serragem com a solução tanino e água 50:50 | 53 |
| 3.5 Ensaio de resistência à compressão das misturas..... | 53 |
| 4. CONCLUSÕES | 54 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A areia de fundição é uma mistura composta por constituintes que são o material aglomerante, aditivos e o material base, que é a areia nova, regenerada ou recuperada. O processo de fundição, dentre outros processos, tais como soldagem, laminação, metalurgia do pó, forjamento e usinagem é o que obtém melhores resultados econômicos, pois possibilita a fabricação de peças com peso que varia de gramas até toneladas, com geometrias das mais variadas e é capaz de utilizar qualquer tipo de metal, o que não ocorre com outros processos, em que o tipo de metal limita sua utilização.

No setor de fundição de uma empresa, a areia é um insumo de grande importância para a fábrica. Embora seu custo por quilo seja baixo, a areia torna-se o item de maior valor na análise geral, visto influenciar enormemente o custo final da peça, pois seu consumo é extremamente elevado. Além disso, a areia preparada de fundição gera outros problemas por defeitos originários de sua má utilização, tais como, inclusões, expansão térmica, quedas de areia, entre outros. Não se deve deixar de registrar também os problemas de poluição, causados pelo descarte do material.

No processo de fundição, são empregados aditivos e aglomerantes, sendo os aditivos mais comuns o mogul, carvão vegetal e melação. Esse trabalho aborda a viabilidade de utilização de novas matérias-primas oriundas da madeira como aditivos e/ou aglomerantes. Nesse contexto, destacam-se os taninos e a celulignina.

Os taninos são componentes polifenólicos que ocorrem em diversas plantas superiores, sendo utilizados para diversas finalidades, como para curtimento de couro e produção de adesivos. Os taninos extraídos da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*) e da madeira do quebracho (*Quebracho balancaea*) são os mais importantes taninos produzidos industrialmente. No Brasil, os taninos são obtidos da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*), em plantios no estado do Rio Grande do Sul. A maior unidade de produção de extratos vegetais tanantes do mundo está localizada no Brasil, sendo que cerca de 30% do tanino (total de 30.000 t/ano) ficam no mercado interno e os outros 70% são exportados para mais de 70 países (SBS, 2006).

A celulignina é um resíduo obtido a partir da pré-hidrólise ácida de madeira. Através do processo, é gerado o resíduo chamado celulignina, em que a celulose e lignina são modificadas. A finalidade desse resíduo é ser utilizado como combustível.

O presente trabalho visa obter misturas envolvendo materiais oriundos de madeira, tais como o tanino e a celulignina, que pelos seus poderes aglomerantes, supostamente poderiam participar como elementos de adição juntamente com aqueles tradicionalmente utilizados em Fundição de peças de aço, ferro e não ferrosos. Inicialmente, propõe-se a utilização destes insumos em substituição total ou parcial da argila e mogul, ambos produtos comumente usados nas areias preparadas de moldagem de peças fundidas. Deve-se ressaltar que o trabalho estará vinculado à fabricação de peças em Alumínio, tendo em vista a baixa temperatura que a areia preparada deve resistir quando do vazamento do metal líquido no molde.

O molde deve possuir uma resistência que suporte a força metalostática exercida pelo metal líquido no interior deste molde, mas que se fragilize após algum tempo, com a finalidade de evitar defeitos nas peças fundidas, tais como trincas, ou outros defeitos causados pela incapacidade da areia em suportar tais forças. A esta propriedade, unem-se outras, que em conjunto devem ser levadas em consideração quando da escolha da areia a ser utilizada na fabricação de peças.

As fundições atuais utilizam uma preparação padrão de areia, composta por areia nova, argila, mogul e água, gerando propriedades mecânicas muito bem definidas em termos de resistências à tração, compressão, fendilhamento etc. A água adicionada à areia funciona como catalisador, que através de ligações iônicas prendem os grãos de areia uns aos outros, já que estão envolvidos por uma leve camada de argila e mogul.

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema que ocorre em quase a totalidade das serrarias brasileiras. Segundo QUIRINO (2003), resíduo é tudo aquilo que resta de um processo de exploração ou produção, de transformação ou utilização. Os resíduos que se originam do processamento da madeira, móveis usados, artigos de madeira, moirões, estacas, bagaço de cana, palha de arroz, galhos de árvores são resíduos ligno-celulósicos que se apresentam em formas e granulometrias das mais variadas, apresentando de modo geral, baixa densidade e alto teor de umidade (QUIRINO, 2003).

Esse trabalho aborda também a aplicação do tanino como aglomerante na fabricação de briquetes de serragem, utilizando-se mistura de tanino e água em diversas concentrações. A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa. Um metro cúbico de briquetes contém pelo menos 5 vezes mais energia que um metro cúbico de resíduos. Isso, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais (QUIRINO, 1991).

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade de utilização do tanino de acácia negra e da celulignina como aglomerantes e/ou aditivos para a areia preparada de fundição do alumínio no processo de moldagem à verde, bem como a utilização do tanino na fabricação de briquetes vegetais, buscando novas aplicações para estes materiais

O presente trabalho foi dividido em dois capítulos, constituindo experimentos distintos. No primeiro capítulo avaliou-se o emprego de taninos e derivados ligno-celulósicos na preparação de areias de fundição e no segundo capítulo foi avaliada a utilização de taninos na preparação de briquetes de resíduos vegetais

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aglomerante tanino

Taninos são compostos polifenólicos de alto peso molecular, utilizados para diferentes finalidades, como por exemplo para curtimento de couro e produção de adesivos. Os taninos compreendem um grupo de substâncias que ocorrem em diversas plantas superiores, em diferentes quantidades e que têm o poder de transformar pele animal em couro (GNAMM, 1933). São solúveis em água ocorrendo frequentemente combinados com açúcares, como glicosídeos, e estão geralmente localizados no vacúolo celular.

As soluções de tanino possuem outras finalidades, como por exemplo, fabricação de azulejos e pisos; facilitar perfurações de poços petrolíferos; ter ação dispersante e desfloculante; entre outras (POSER & GOSMAN, 1990). Os compostos polifenólicos de algumas cascas e madeiras possuem um grande poder de ligação. Essas substâncias podem formar uma resina através da condensação com o formaldeído sob determinado valor de pH (GONÇALVES, 2000).

Sob o aspecto da transformação da pele animal em couro, este processo é devido à associação dos grupos hidroxilas dos taninos com as ligações peptídicas dos aminoácidos presentes na proteína animal chamados colágenos (HASLAN, 1966).

Segundo sua estrutura química, os taninos são classificados em dois grandes grupos: taninos hidrolisáveis derivados de esqueletos e taninos condensados, ou procianidinas. Os taninos hidrolisáveis apresentam na sua constituição monômeros de ácido gálico (tanino gálico) ou ácido elágico (tanino elágico), enquanto os taninos condensados são formados pela polimerização de unidades de catequina (PAIVA et al., 2002). Os taninos hidrolisáveis constituem-se em fenóis simples, esterificados com açúcares, sofrendo hidrólise ácida, alcalina ou enzimática. Como exemplo dos taninos hidrolisáveis, tem-se a madeira do castanheiro (*Castanea sativa*) (ROFFAEL & DIX 1994).

Os taninos condensados são formados por unidades de flavonóide (flavan 3-4 diol e flavan 3-ol) em vários graus de condensação (dependem do tipo e da origem do tanino), não sofrem hidrólise e se precipitam com formaldeído e ácido clorídrico, segundo a reação de Stiasny. Dentre os dois tipos de taninos, os mais importantes são os condensados, que geralmente se apresentam como polímeros, tendo um grau de condensação médio variando de 4 a 12 unidades flavonóides (WISSING, 1955). Quando o polímero tanino é composto de unidades fisetinidina o polímero é chamado de profisetinidina e quando eles são compostos de catequina e galocatequina os polímeros são respectivamente chamados de procianidina e prodelfinidina (PIZZI, 1994).

Os taninos são obtidos geralmente da madeira, da casca de certas folhosas e também de Pinus. As coníferas, com exceção de suas cascas, apresentam pequena quantidade de tanino. Na casca de *Picea abies* pode-se encontrar até 15% de tanino. Em algumas espécies provenientes de manguezais o teor pode chegar a 35% e no caso de madeira de quebracho (*Schinopsis balancae* Engl.) o teor de tanino varia de 30% a 35% (ROFFAEL & DIX, 1994).

Os taninos condensados são utilizados como substitutos de resinas sintéticas devido a sua característica de precipitar-se com formaldeído, formando assim um polímero de estrutura rígida (GONÇALVES & LELIS, 2001). A reação do tanino com o formaldeído é o fundamento para o seu emprego como adesivo, pois assim aparecem policondensados de alto peso molecular (ROFFAEL & DIX, 1994).

Os extrativos da casca de acácia negra e da madeira do quebracho são os mais importantes taninos condensados produzidos industrialmente. Os taninos condensados

constituem mais de 90 % da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350000 ton/ano (GUANGCHENG et al., 1991). A maior unidade de produção de extratos vegetais tanantes do mundo está localizada no Brasil, sendo que cerca de 30% do tanino (total de 30.000 t/ano) ficam no mercado interno e os outros 70% são exportados para mais de 70 países (SBS, 2006).

A extração de taninos pode ser feita através da casca e/ou do cerne de algumas espécies. A extração se dá, basicamente, pela solubilização dos seus constituintes químicos em diferentes solventes. Normalmente, a nível industrial, a água tem sido o solvente mais comum, devido à economia e boa eficiência de extração (MORI et al., 2003). CONDE et al. (1996) na extração de taninos da casca de *E. camaldulensis*, *E. globulus* e *E. rudis* utilizaram solução de metanol - água (80:20). Por outro lado, QUEIROZ et al. (2002) além de utilizarem metanol, também usaram uma solução de acetona – água para extrair polifenóis da madeira de aroeira – preta (*Myracrodruon urundeuva*).

TRUGILHO et al. (1997) utilizaram na extração de tanino da casca de algumas espécies do cerrado somente água por um período de 2 horas de fervura. MORI et al. (2001) utilizaram água destilada e duas temperaturas de extrações (70°C e 100°C) em extração de tanino da casca de *E. cidriodora*, *E. grandis* e *E. urophylla*, por um período de 3 horas, além da adição de diferentes concentrações de sulfito de sódio (1, 3, 5 e 7%). TRUGILHO et al. (2003) testaram dois métodos de extração para determinação do teor de taninos na casca de 25 espécies de Eucalyptos, sendo o primeiro com água quente e o outro com uma seqüência de tolueno e etanol, e verificaram diferenças significativas nos teores de taninos entre os dois métodos de extração.

A extração aquosa de taninos condensados na presença de sulfito de sódio é chamada de sulfitação e pode ser executada com água quente ou fria. A sulfitação é um processo bastante utilizado na extração de tanino, e os taninos obtidos são solúveis em água, apresentando também menores viscosidades (PIZZI, 1994).

A extração de taninos é feita a partir de materiais moídos, podendo ser colocados em autoclave à determinada pressão e temperatura. Neste caso, a pressão e temperatura são mantidas constantes durante todo o processo de extração, para que se possa obter extrato com características adequadas para a produção de adesivos (CHEN 1991; PIZZI, 1994).

Os extratos tânicos industriais consistem de uma mistura de póli e monoflavanóides acompanhados de outros materiais não fenólicos (açúcares e carboidratos) (ROFFAEL & DIX, 1994). A qualidade dos taninos depende do tipo de extração empregado no processo de produção. Em geral, a extração industrial de taninos é feita com água quente em presença de baixas concentrações de um sal inorgânico, capaz de melhorar a eficiência do processo em termos de quantidade e qualidade dos taninos extraídos, sendo os mais utilizados os sais de sódio, sulfito (Na_2SO_3), carbonato (Na_2CO_3), e bissulfito (NaHSO_3) (PIZZI, 1983; CHEN, 1991).

O grande interesse na investigação e subsequente aplicação industrial de taninos aconteceu na África do Sul nos anos setenta, devido a grande abundância dos taninos da casca de acácia (*Acacia mearnsii*), tradicionalmente plantada para a produção de taninos para o curtimento de pele animal, conjugada com o elevado preço naquele país dos produtos químicos derivados de petróleo. Entre 1971 e 1981 foram desenvolvidos vários adesivos para aglomerado de partículas e laminados (PIZZI et al., 1981; JORGE et al., 2002).

É interessante observar que o tanino quando misturado à água em proporções equivalentes (1:1) se transforma em agente aglomerante, sendo possível utilizá-lo em misturas padrão para briquetes, por exemplo (BARBOSA, 2008).

2.2 História da Fundição

A história do desenvolvimento da fundição de metais não ferrosos, pelas suas profundas raízes do tempo, constitui, de um lado, um dos pontos de apoio para a compreensão da História da Humanidade. Por outro lado, fornece os elementos fundamentais da própria História da Metalurgia e da Industrialização dos Povos (BRADASHIA, 1975). De fato, admite-se que o homem encontrou o metal pela primeira vez, a cerca de 8.000 anos atrás. Isto foi ainda em plena Idade Neolítica (idade da pedra polida), algum tempo depois de se ter desenvolvido as mais primitivas formas de agricultura, de se ter domesticado alguns animais e de se ter aprendido a confeccionar potes de argila cozida.

Quando o homem aprendeu a dominar o fogo e a fazer potes de argila cozida, passou a ter nas mãos dois elementos fundamentais para a fundição de metais: o calor para derretê-los e o vasilhame para contê-los durante a fusão e vazamento. A técnica de fundição dos primeiros metais não ferrosos teria se desenvolvido na Eurásia, que passaria por ser a região do nascimento dos metais. O ouro teria sido o primeiro metal a atrair a atenção do homem primitivo. No entanto, em virtude de sua grande ductilidade e baixa dureza, o ouro foi de pequena valia para a produção de ferramentas e de armas, servindo apenas para adorno. Posteriormente, o homem primitivo descobriu outros metais nativos tais como o cobre e a prata. Quando martelou o cobre nativo para confeccionar ornamentos, o homem aprendeu sua primeira lição sobre ciência dos metais: o cobre martelado endurece e pode tomar a forma de ferramentas e de armas, e assim, a pedra vermelha tornou-se mais útil que a amarela (MODERN CASTING, 1967).

Mais tarde, cerca de 5000 a 4000 anos AC, o homem descobriu que o cobre através do aquecimento e marteladas alternadas podia ser amolecido, tendo nascido assim o primeiro metal industrializado. O terceiro metal a ser descoberto seria a prata. Segundo SIEGEL (1969), a era se caracterizou pelo uso dos três metais e por uma quantidade desprezível de ferro meteorítico (ferro puro) e foi denominada Era Calcólítica (termo relacionado com pedra e cobre).

A verdadeira idade do metal só teria começado quando o homem aprendeu, por acaso, como fundir os metais. Assim, teria começado a Idade do Cobre, em primeiro lugar na Mesopotâmia e em segundo no Egito. Isto teria acontecido 4000 anos AC. Parece provável que o homem usou, por acaso, minério de cobre (carbonato, óxido, ou ambos) para proteger sua fogueira da noite e descobriu, na manhã seguinte, nas cinzas da fogueira, alguns glóbulos brilhantes de cobre.

O desenvolvimento da redução de minérios de cobre, algo mais que uma simples fusão, constitui um dos marcos mais importantes da história do homem. Em seqüência, segundo ainda SIEGEL (1964), a Idade do bronze indicou a associação do estanho com o cobre, fato ocorrido novamente por acaso. Os metalurgistas primitivos descobriram que esta associação produzia uma liga mais dura que o cobre, mais fácil de se fundir e apresentava uma fluidez superior. Isto teria ocorrido em 3000 AC na Europa e China. A composição dos bronzes era avaliada pelo tom, cor, dureza e fluidez.

A Idade do Bronze terminou entre 1400 e 1000 AC, quando começou a Idade do Ferro. Tal fato não pôs um fim ao uso das aplicações do bronze; ao contrário, durante a Idade do Ferro, que continua até os nossos dias, a produção de bronze cresceu com uma intensidade maior que durante a Idade do Bronze. A Idade do Ferro e a história da fabricação do aço são assuntos que não serão tratados nesta pesquisa por se tratar de metais que utilizam temperaturas bem maiores de fusão, situando-se em torno de 1500 a 1700 °C .

2.3 Processos de Fundição em areia

Abaixo, são apresentados itens sobre o processo de fabricação de peças fundidas em areia, considerando-se que:

A – Nestes processos, os materiais do molde são as areias de moldagem.

B – Os moldes são, geralmente, destruídos para remoção das peças e a areia pode ser reutilizada várias vezes.

C – Com moldes em areia é possível fundir peças de formas complexas e que não poderiam ser obtidas com outros processos.

D – A fundição em areia recebe várias denominações referentes a um fator tecnológico que representa uma característica específica do processo.

2.3.1 Fundição em areia à verde - moldagem

É o processo mais conhecido e mais largamente empregado na fundição. É preferido por motivos de economia e pelo fato de permitir a produção de peças de qualidade na maioria dos metais (tanto ferrosos como não ferrosos) e de se prestar bem à produção em série. O molde é confeccionado com uma mistura plástica de areia, composta basicamente de areia silicosa, argila e água que pode receber o metal imediatamente, isto é, sem necessidade de secagem. Daí ser chamada em estado verde.

A areia do molde contém um determinado teor de umidade no momento do vazamento, porém podem ser utilizadas na fabricação de todos os tipos de metais, ferrosos ou não ferrosos. (BRANDÃO, 2005). Ela pode ser usada na fundição de peças pequenas, médias e também grandes e os vários tipos de areia a verde são, comumente, mais usados do que qualquer outro tipo de areia de moldagem. Como vantagens deste processo, pode-se citar:

a) o molde a verde é o de construção mais econômica, b) o molde a verde não necessita de despesas com instalações e operações de equipamentos de secagem (estufas), c) O material básico que integra a areia de moldagem a verde é mais barato e d) a moldagem em areia a verde consome tempo menor. As desvantagens, segundo BRANDÃO (2005), são: a) os moldes em areia a verde não são tão resistentes como os de outros tipos e podem ser destruídos durante o manuseio ou pela erosão do metal, b) a areia a verde contém umidade e esta pode ocasionar certos defeitos na peça fundida e c) os moldes de areia a verde não podem ficar à espera do vazamento pelo espaço de tempo muito grande.

O processo de confecção dos moldes, fase de moldação, é feito através da socagem da areia preparada sobre o modelo de fundição, utilizando-se para este fim o martetele pneumático ou a máquina de moldar por compressão e batidas. Pode-se usar também máquinas de moldagem por projeção de areia preparada, as Speed-Slinger que são móveis ou fixas. Os modelos geralmente são bipartidos e o molde é feito em duas etapas, fundo e tampa. Dentro deste molde existe um sistema de canais por onde o metal líquido irá percorrer para efetuar o enchimento da peça, enchendo-se também os alimentadores, ou massalotes, que são recipientes de metal adicional, que se coloca sobre os pontos da peça que solidificarão por último, para evitar defeitos de contração deste metal no estado líquido na solidificação, defeito denominado de rechupe. Os valores de contração, segundo COSTA (1990) são de 2,0 % para o aço, de 1,0 % para o ferro e de 1,5 % para os não ferrosos.

2.3.2 Constituintes de uma areia de fundição

A areia de fundição é uma mistura composta por constituintes que são o material aglomerante, aditivos e o material base, que é a areia nova, regenerada ou recuperada. Entende-se por areia recuperada como aquela que já foi utilizada pelo menos uma vez, e que manteve contato com o metal líquido, ou seja, o calor gerado pela temperatura do metal no estado líquido transformou suas características, queimando-a, tornado-se útil somente para a prática de enchimento dos moldes. Nesta prática, a peça é faceada com areia nova (que nunca foi usada) e, visando maior economia, o restante da caixa molde é preenchido com a areia recuperada (MURAD, 1966).

A areia regenerada é a areia recuperada que sofreu o processo de regeneração, ou seja, fez-se uma limpeza nos grãos da areia recuperada, retornando esta areia para as características de uma areia nova. Este processo de regeneração pode ser mecânico ou térmico. Devido ao elevado custo dos equipamentos de regeneração, o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, colocou em prática uma carreta regeneradora, que vai até as pequenas fundições e efetua o processo de regeneração da areia lá existente e volta para São Paulo (ABM, 2007)

Segundo BRANDÃO (2005), a areia nova deve ser medida sob os seguintes aspectos:

A) Pureza

A refratariedade de uma areia base está relacionada com a pureza do mineral que a constitui, sendo que a análise química revela o seu grau de pureza, mostrando em porcentagens o composto químico básico do mineral e as impurezas ocorrentes. Como exemplos, pode-se citar 3 tipos de areias usadas em fundição, com suas respectivas análises químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Exemplo de três tipos de areias usadas em fundição e suas composições químicas

| AREIA CROMITA | AREIA SÍLICA | AREIA ZIRCONITA |
|---|--|--|
| Cr ₂ O ₃ – 44,5% | SiO ₂ - 99,01% | DDC – 0,1% |
| SiO ₂ – 2,00% | Al ₂ O ₃ – 0,35% | ZrO ₂ – 65,12% |
| FeO – 25,89% | Fe ₂ O ₃ – 0,4% | SiO ₂ – 33,00% |
| MgO – 9,88% | TiO ₂ – 0,19% | Al ₂ O ₃ – 1,05% |
| Al ₂ O ₃ – 16,66% | Álcalis – TR | Fe ₂ O ₃ 0,43% |
| | | TiO ₂ – 0,20% |

Notas:

1 – Areia de sílica (SiO₂) ou dióxido de silício é a de maior emprego em fundição e é resultante de rochas quartzosas ou silicosas. Encontra-se na natureza em bancos de rios e lagos; nas praias e dunas ou em jazidas onde outrora havia água. Participa em torno de 50% a 95% do total de material da areia de moldagem.

2 – Areia de zirconita (ZrSiO₄) que é um silicato de zircônio. Ocorre em praias e dunas.

É utilizada na moldagem de peças especiais de ferro e aço, principalmente, devido a sua alta refratariedade.

3- Areia de cromita, cujo mineral predominante é óxido de cromo (Cr₂O₃) associado ao FeO (Óxido de ferro) é de natureza friável e ocorre em depósitos. É empregada nas areias de moldagem para peças grandes de aço e ferro fundido e principalmente, para as peças de aço manganês por ser mineral neutro.

As areias de zirconita e cromita são areias bases especiais e fornecem melhores condições às areias de moldagem justificando o seu emprego, sendo, portanto, de custo mais elevado do que as areias de sílica.

B) Forma do grão

A classificação é feita sob quatro formas; arredondada, angular, subangular, agrupada. O ensaio é feito observando visualmente a forma predominante com auxílio de uma lupa.

C) Ensaio granulométrico

O ensaio granulométrico é o conjunto de percentagens retidas nas peneiras da série padrão. Algumas variáveis utilizadas: 1) Concentração: é a soma das percentagens retidas em três ou quatro peneiras consecutivas; 2) Módulo de finura: representa o tamanho médio do grão e define-se como o número da peneira na qual passará a areia se todos os grãos fossem de tamanho uniforme.

D) Teor de finos

É a soma das percentagens retidas nas peneiras de números 200, 270 e fundo, que são as três últimas peneiras mais finas do conjunto.

Como aglomerantes, se observarmos o processo de moldagem à verde, em que a água funciona como catalisador, agregando os grãos de sílica da areia uns aos outros, pelo processo de ionização, o aglomerante mais utilizado nas fundições é a argila ativada. Como aditivo, temos o amido de milho mogul, carvão mineral, óxido de ferro, melaço, serragem, entre outros, cada um com funções específicas que serão descritas neste trabalho.

Portanto, constituintes de uma areia de fundição são os insumos utilizados na mistura que irá originar o molde da peça, através do processo de moldagem. A areia preparada consiste na pesagem dos insumos previamente definidos e que correspondem a um determinado traço(composição) de areia. Pesa-se, portanto, cada item do traço e se abastece o misturador de areias, colocando-se em primeiro lugar a areia, seguindo-se a argila e o mogul. Mistura-se estes insumos por mais ou menos 5 minutos e adiciona-se a água, misturando os materiais por mais 5 minutos, descarregando-se o misturador (COSTA, 1990). A areia estando pronta para consumo da moldagem é então colocada em caçambas e encaminhada para a área específica de moldagem, onde serão fabricados os moldes.

2.3.3 Escolha de uma areia nova de fundição

Areia base define-se como sendo partículas granulares resultante da fragmentação das rochas pela ação dos fenômenos geológicos através dos tempos. O nome da areia base é de acordo com o mineral predominante em cada uma dessas rochas. A escolha de uma areia base requer a observação de dois aspectos principais, que são o aspecto granulométrico e seu comportamento térmico.

Quanto ao aspecto da granulometria, este fator compreende o tamanho médio dos grãos, distribuição granulométrica e forma dos grãos, que são determinados em laboratório, por separação de uma amostra de areia nas diversas peneiras de uma série padronizada. A esse teste de laboratório denomina-se ensaio granulométrico.

O segundo fator é o comportamento térmico que compreende a refratariedade e expansibilidade térmica de mineral para mineral de areia base. A composição química e mineralógica influem na refratariedade e expansibilidade térmica. A refratariedade está relacionada com a capacidade da areia suportar alta temperatura sem fragmentação dos grãos ou fusão superficial dos mesmos (BRANDÃO, 2005).

2.3.4 Modelação

Entende-se por modelagem, de um modo geral, todos os requisitos necessários para a obtenção de um corpo chamado modelo, com o fim de se obter a partir deste modelo, refratário necessário à produção da peça desejada. O modelo nada mais é que uma reprodução da peça desejada, em cuja construção são levados em consideração os seguintes fatores (COSTA, 1990):

- Contração: Os metais dilatam-se com a elevação de temperatura e contraem-se no esfriamento. Há três tipos de contração: - contração no estado líquido, que é a redução de volume quando o metal esfria até a sua temperatura de solidificação; - contração durante a solidificação; - contração no estado sólido, que é a redução do volume quando o metal esfria da temperatura de solidificação até a temperatura ambiente. O modelador ao construir um modelo deve levar em consideração esse fator de contração, dando um acréscimo nas medidas com o coeficiente de contração do metal em que a peça será fundida.

- Usinagem: Nem todas as peças são utilizadas no estado em que se apresentam como fundidas. Assim, algumas peças devem ser usinadas para atingir o formato final de utilização. Para tornar possível esta usinagem o modelador deve dar um acréscimo nas medidas das regiões da peça, que serão usinadas. Este acréscimo depende do método de usinagem, das características do metal, do tamanho e forma de peça e por último, do método de moldação e vazamento.

- Saída do modelo: A fim de retirar o modelo da caixa de moldação, após o socamento, dá-se uma inclinação nas paredes verticais do modelo. Esta inclinação é denominada saída do modelo. Segundo BRANDÃO (2005), um modelo nem sempre é constituído de uma única parte. Assim, ele poderá possuir peças soltas, para permitir a retirada do modelo após o socamento do molde.

Da mesma forma, um modelo poderá possuir caixas, onde serão socados os machos, e por esta razão são denominadas caixas de machos. No caso dos moldes serem produzidos em máquinas de moldar o modelo ou modelos são aplicados em placas, e que são denominados placas de moldação.

Os modelos podem ser feitos de madeira, metal, gesso, plástico, isopor, etc. A escolha do material depende do número de peças a serem fundidos (MURAD, 1966). A fim de facilitar o trabalho do moldador, os modelos são pintados com cores padronizadas que evitam inúmeros erros, protegem a madeira contra a umidade e permitem uma superfície lisa que facilita a moldação (BRANDÃO, 2005). As seguintes cores são utilizadas: Vermelho – modelo para ferro fundido; Azul – modelo para aço fundido; Amarelo – modelo para bronze; Verde – indica partes soltas no modelo; Preto – indica marcação de macho. O amarelo também é utilizado para indicar as partes a serem usinadas.

2.3.5 Moldação

Conforme visto anteriormente, a moldagem a verde é feita através de martelotes pneumáticos em máquinas de compressão e batidas ou ainda em equipamentos do tipo Speed-slinger móvel ou fixa.

Quanto ao preparo das areias de moldagem, segundo BRANDÃO (2005), os equipamentos são o misturador cuja função é misturar homogeneamente a areia base, argila, aditivos e a água. O método de se trabalhar consiste, geralmente, em misturar primeiramente

os materiais a seco e em seguida misturar com água obedecendo, cada fase de mistura, tempos determinados. Os tipos de misturadores existentes são o descontínuo, que são os mais utilizados e também conhecidos como galgas e os misturadores contínuos que são empregados onde se necessita de grande produção de areia de moldagem.

2.3.6 Fusão e vazamento

Para o caso do alumínio, segundo MURAD (1966), por ser um metal de baixo ponto de fusão, os fornos usados em sua fundição são equipamentos simples e que não requerem altas temperaturas como aquelas exigidas para a fusão dos ferros e dos aços. Normalmente, para se obter o alumínio no estado líquido são utilizados fornos de fusão à gás GLP, com fornos do tipo revérbero, onde a temperatura não ultrapassa 800 °C. O alumínio tem ponto de fusão a 650°C e durante sua fabricação eleva-se a temperatura até 720°C e procede-se o vazamento (COSTA, 1990).

Se a liga possuir silício, é necessário o tratamento de esferoidização, que é feito utilizando-se o sódio metálico (Na) – composto chamado de NAVAK ou o elemento estrôncio (Sr) que é vendido em liga AL-Sr que contem 10 % de Sr.

Para a desgaseificação, utiliza-se a injeção de argônio no alumínio líquido, promovendo a retiradas dos gases contidos. O vazamento é feito em painéis de aço sem revestimento refratário, sendo o metal colhido no interior do forno de espera, onde foi feito os tratamentos (MURAD, 1966).

2.3.7 Desmoldagem, acabamento e recuperação

A fase de desmoldagem é geralmente utilizada com equipamentos do tipo Check-out, onde através de vibrações a peça solidificada no molde é retirada da caixa de moldagem, sendo a areia separada e recolhida por meio de correias transportadoras, que a levam para silos de areia recuperada, para posterior utilização no enchimento de novos moldes ou encaminhada para o processo de regeneração da areia, ou seja, transformação de areia recuperada em semi-nova, processo este realizado mecanicamente ou termicamente (COSTA, 1990).

Segundo BRANDÃO (2005), o sistema de areias de uma fundição é composto por silos de armazenagem de areias nova, regenerada e recuperada, todas dispostas estrategicamente em relação aos misturadores de areia, sendo também encaminhadas para silos situados sobre outros tipos de misturadores, tais como o contínuo ou até mesmo outros misturadores posicionados em quaisquer pontos da área da fundição. Nos misturadores é realizada a mistura padrão de areia, argila, mogul melado, óxido de ferro e água, e a areia assim preparada é enviada através de correias transportadoras para caçambas colocadas nas áreas de moldagem ou são enviadas para silos suspensos sobre as máquinas de moldagem por compressão e batidas.

SIEGEL (1964) demonstra que após a desmoldagem, a peça é enviada para o processo de jateamento em jatos de areia ou granalha de aço, onde é totalmente limpa superficialmente. Realiza-se agora a primeira inspeção na peça, que é a inspeção visual, onde verifica-se a existência de defeitos que podem ser observados a olho nu, tais como, trincas, fecho frio, desencontro, areia incrustada, entre outros. A peça apresentando resultado positivo no teste visual é encaminhada ao setor de corte de canais e massalotes, que, dependendo do tipo do metal que foi vazada, este corte é feito por serragem tipo Cut-off, que é uma serra de disco abrasivo, oxi-acetileno, muito usado em peças de aço ao carbono, quebra dos canais – para os

ferros fundidos cinzentos e nodulares, e finalmente o Arc-air , também conhecido como tocha, amplamente utilizado nos cortes dos aços especiais tipo inoxidáveis e manganês austeníticos.

Após o corte dos canais e massalotes, denominados retorno de fundição, estes são separados, identificados e encaminhados para o setor de fusão para refusão, sendo a peça inspecionada novamente a olho nu, a procura de defeitos do tipo rechupe (falha de contração do metal durante a solidificação).

COSTA (1990), afirma que as peças que possuem defeitos visuais já são separadas e encaminhadas para o processo de recuperação por processo de soldagem, sendo re-inspecionadas ao término deste processo. O acabamento é realizado por esmerilhamento superficial da peça, utilizando para este fim rebolos abrasivos de diversos diâmetros, capazes de penetrar em orifícios pequenos existentes na peça. Estando a peça totalmente acabada, a mesma é remetida ao setor de tratamento térmico se houver, ou para o setor de qualidade, conforme a seqüência deste trabalho.

2.3.8 Controle de qualidade

Este setor é composto por três fases distintas, a saber:

- a) Inspeção visual, onde o inspetor verifica visualmente a ocorrência de defeitos de fundição que podem ser observados a olho nu.
- b) inspeção dimensional, onde através do recurso de medições manuais na peça ou gabaritação, ou ainda traçagem em mesa própria, são verificados se a peça está em conformidade com o desenho da mesma, ou seja, se está aprovada para expedição.
- c) inspeção metalúrgica, onde são efetuados os ensaios de análise química, metalografia, mecânicos, físicos, e outras verificações que são peculiares a peça , como por exemplo aquelas que refrigeram os Alto Fornos, que são fabricadas em cobre, onde são efetuados os testes para comprovação de estanqueidade, qualidade interna através do raio X e sua condutividade térmica (COSTA,1990).

As peças estando em conformidade com o resultado dos ensaios nela realizados está apta para a expedição; caso contrário, retorna para o processo de recuperação ou é recusada automaticamente e retorna para a área de fusão como matéria prima dos fornos.

2.4 Materiais constituintes das areias de fundição

2.4.1 Aglomerante Argila

Aglomerantes do tipo película, são como cola e geralmente dependem da evaporação da água ou algum solvente para desenvolver sua resistência. Além da argila, o tanino e o mogul também se enquadram neste tipo de aglomerantes.

A argila é definida como rocha geralmente plástica constituída essencialmente por silicatos de alumínio hidratados, denominados minerais de argila, ou argilo-minerais, que podem conter sílica livre e outras impurezas.

É aglomerante de tipo mineral, usual nas areias de fundição sintéticas, que devem ter alto poder aglomerante, tanto verde quanto seca. A coesão da areia de fundição é determinada pela argila e aumenta com o teor desta; entretanto, este aumento prejudica a refratariedade da mistura, diminuindo-a. Na prática, o teor de argila é determinado pela menor quantidade possível capaz de promover resiliência suficiente para a confecção do molde. Com uma argila de alto poder aglomerante é possível alcançar a resiliência desejada, usando menor teor deste material. Esta economia redundará em benefício na areia de fundição aumentando sua

permeabilidade e elevando seu ponto de sinterização, exigindo menos teores de água para efetuar a mistura (IPT, 1972).

Os tipos de argilas mais importantes são:

a - Bentonita (Oeste e Sul): é uma argila derivada da decomposição de cinzas das rochas vulcânicas e cujo mineral predominante é a montmorilonita.

b- Argilas refratárias: são aquelas provenientes dos resíduos da erosão de rochas graníticas e basálticas e são também chamadas de argilas caolínicas.

c- Argilas ilíticas: argilas refratárias provenientes da erosão de rochas micáceas.

A argila quando adicionada à areia base e umedecida forma ao sistema areia-argila-água as características de plasticidade e consistência, que constituem a propriedade tecnológica designada por moldabilidade. O poder aglomerante de uma argila é avaliado através de uma característica chamada resiliência, que é o produto da resistência à compressão a verde pela deformação (BRANDÃO, 2005).

2.4.2 Aditivo celulignina

As maiores fontes de biomassa hoje disponíveis estão na forma de rejeitos de resíduos florestais (galhos, folhas e árvores mortas), de serrarias, maravalhas por exemplo, da agroindústria (em especial cascas e bagaços) e da matéria orgânica do lixo. Uma forma alternativa de aproveitamento de biomassa está em desenvolvimento através do Programa BEM, conduzido pelo Prof. Dr. Daltro Garcia Pinatti, USP – Lorena, em associação com a RM – Materiais Refratários Ltda, uma Empresa do Grupo Peixoto de Castro – GPC. Este processamento é feito a partir da pré-hidrólise ácida diluída em um reator, com objetivo de hidrolisar a hemicelulose gerando o pré-hidrolisado abrindo porosidade na celulose e globulizando a lignina.

A parte líquida, o pré-hidrolisado, se destina à produção de químicos de biomassa (álcool, furfural ou xilitol) e a parte sólida, celulignina, destina-se como combustível. Atualmente, tem-se pesquisado sua utilização como aglomerante, com aumento do poder calorífico (lignina) ou na recuperação do carbono nos briquetes metálicos.

O processo de pré-hidrólise ocorre a temperatura de 160°C, 0,7 MPa de pressão, concentração de 1% H₂SO₄ e um tempo de 25 min. O ciclo do processo demanda 10 min. para carregamento, 25 min. para aquecimento, 25 min. para pré-hidrólise, 10 min. para descarga do pré-hidrolisado, 10 min. para a recuperação de açúcar e 10 min. para descarregamento totalizando 90 min. para o processamento completo.

2.4.3 Mogul

Os aglomerantes cereais são derivados dos grãos de cereais tais como de trigo, centeio e milho e são produzidos na forma de farinha seca e também na forma líquida como é o caso de melão. Sendo uma classe de aglomerantes de custo baixo, proporcionam também boa colapsibilidade às areias de macho e aumentam a vida útil das areias de moldagem e de macho. Fornecem boa resistência a verde e cozimento rápido a cerca de 190°C e geralmente, se queimam entre 260°C a 371°C. São usados, geralmente, combinados com outros aglomerantes na proporção de 0,5 % a 1,0 %.

Segundo BRANDÃO (2005) são de natureza higroscópica, isto é, tem grande afinidade pela água, portanto, depois de preparados os moldes e macho, a umidade absorvida tende a enfraquecê-los.

Muitos aglomerantes cereais fermentam-se durante o uso produzido, causando então, mau cheiro. É conhecido como farinha de milho gelatinizado, derivado do amido de milho. Aumenta a característica de resiliência da areia, portanto melhora a qualidade de trabalhabilidade, aumentando tanto a resiliência como a deformação. A presença deste aglomerante facilita o conserto dos moldes principalmente se a areia de fundição tem a característica de secagem rápida ao ar (IPT, 1972). Segundo COSTA (1990), o mogul tem especial aplicação nas areias de macho, contribuindo em muito para o aumento de suas propriedades mecânicas e colapsibilidade (propriedade da areia em ceder quando estrangulada por forças externas do metal líquido). Como características exigidas, podemos considerar as seguintes: Resistência à compressão: 0,15 Kg/cm²; Permeabilidade: 60 AFS; Deformação: 3 %; Resistência à tração à seco: 3,0 Kg/cm² (IPT, 1972).

2.4.4 Carvão Mineral em Pó

O carvão mineral é massa compacta estratificada de matéria vegetal, cujo processo de decomposição foi interrompido como resultado de ação geológica. As modificações nas propriedades da matéria vegetal envolvem alterações complexas nos constituintes da sua estrutura, com evolução da umidade, gás carbônico e metano (ARAÚJO, 1967). Desde a antiguidade, se reconhece a origem vegetal do carvão-de-pedra. Nos lignitos podem-se observar ainda restos da estrutura das plantas que o formaram.

Os depósitos carboníferos se localizam nos limites de regiões montanhosas, onde alterações geológicas, no período quaternário, causaram o soterramento de florestas. Para o desenvolvimento da luxuriante vegetação da época, era necessário clima ameno, com bastante umidade e solo fértil. Estas duas condições são encontradas nas vizinhanças de cordilheiras, pois as cadeias de montanhas representam coletores de chuvas que, devido às diferenças de altura entre os montes e a planície, provocam uma erosão intensiva, resultando em fonte de suprimento de minerais pela conseqüente sedimentação nas baixadas. Para a formação de camadas carboníferas, outra condição essencial teria sido o abaixamento do subsolo lento, porém, interrompido. Como resultado de um movimento tectônico deste tipo, a região coberta de florestas ficou submersa, transformando-se em lago. Com o passar do tempo, argila e areia eram arrastadas pela erosão natural e o depósito de turfa, recoberto por uma camada de terra. A compactação progressiva da turfa se fazia pelo acúmulo cada vez maior de material depositado na superfície. No decorrer dos séculos, o abaixamento do subsolo pode ter sido sustado e até anulado, pela formação de montanhas (ARAÚJO, 1967).

Segundo MASUDA (2004), estes movimentos geraram grandes pressões nas diversas camadas do solo e, naturalmente, também, sobre os depósitos vegetais. Estas ações, combinadas da pressão e do calor durante períodos diversificados e longos, causaram modificações na turfa, com diminuição total da água, do gás carbônico e do metano, aumentando sucessivamente o teor de carbono no material que era residual. Tais modificações podem ter durado vários séculos e resultaram na transformação progressiva da turfa em lignito e, depois, nos diversos tipos de carvão betuminoso, até chegar a antracito, conforme representado na Tabela 2.

Estimativas de geólogos indicam que as temperaturas às quais foi submetida a matéria vegetal fóssil variam entre 100^oC a 600^oC e as pressões nas camadas profundas, terem sido da ordem de 1.500 atmosferas (MASUDA, 2004). Segundo ARAÚJO (1967), desde as turfas e lignitos até o antracito, existe, uma gama variada de composições e características, sendo aceito sem discussões que as turfas de hoje, por meio de uma série de transformações, gradualmente se transformariam em carvões no futuro. A turfa é, portanto, considerada o

estágio inicial da transformação da matéria vegetal em carvões, resultante da decomposição de vegetais de pequeno desenvolvimento (musgos e arbustos) num ambiente de água doce.

Tabela 2. Mudança progressiva da análise de materiais vegetais e carvões durante o processo de carbonização (% em base seca sem cinzas) – (Araújo, 1967)

| MATERIAL | Umidade “in natura” % | PORCENTAGEM (em base seca) | | | |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| | | C | H ₂ | O ₂ | Matéria Volátil a 900 ⁰ C |
| Madeira (média) | 20 | 50 | 6 | 42 | 75 |
| Turfa | 90 | 60 | 5,5 | 32 | 65 |
| Lignita | 40-20 | 65-75 | 5 | 16-25 | 40-50 |
| Betuminoso | 10 | 75-90 | 4,5-5,5 | 5-20 | 18-40 |
| Sub-betuminoso | 20-10 | 75-80 | 4,5-5,5 | 12-21 | 45 |
| Semibetuminoso | Abaixo de 5 | 90-92 | 4,0-4,5 | 4-5 | 5-20 |
| Antracito | Abaixo de 5 | 92-94 | 3,0-4,0 | 3 | 15 |

No Brasil, existem turfeiras no Vale do Paraíba, entre São José dos Campos e Resende; na Bahia, em Marau e, no Espírito Santo, entre Conceição da Barra e Vitória. Este material, depois de seco ao ar, contém de 10 a 20% de água, 32 a 50% de matéria volátil e poder calorífico entre 2.500-4.000 kcal/kg.

A ASTM procurou classificar os carvões mais nobres, nos valores do carbono fixo e teor de matérias voláteis e, para os carvões de qualidade inferior, nos valores de poder calorífico (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação ASTM para carvões minerais (Araújo, 1967)

| DESIGNAÇÃO | C FIXO (base seca) | Matéria Volátil (base seca) |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Meta-antracíticos | 98% | 2% |
| Antracítico | 92-98% | 2-8% |
| Semi-antracíticos | 86-92% | 8-14% |
| Betuminoso (baixo volátil) | 78-86% | |
| Betuminoso (médio volátil) | 69-78% | |
| Betuminoso Alto volátil, A | - | |
| Betuminoso Alto volátil, B | - | |
| Betuminoso Alto volátil, C | | |
| Sub-betuminoso A | - | - |
| Sub-betuminoso B | | |
| Sub-betuminoso C | | |
| Lignita | - | |
| Turfa | - | - |

O poder calorífico superior do carvão isento de cinzas é medido em equilíbrio, numa atmosfera onde o grau hidrométrico é 96% e a temperatura é de 30⁰C (MASUDA, 2004).

Segundo BRADACHIA (2005), em termos de fundição, o carvão mineral é um elemento que o fundidor lança mão para melhorar o acabamento superficial das peças. O melhor ou pior acabamento superficial é, dentro de certos limites, função do volume dos gases

redutores gerados na areia, proveniente dos constituintes orgânicos e em particular o carvão. Em fundição, deve-se empregar o carvão mineral betuminoso de alto teor de matérias voláteis.

Um carvão aconselhável satisfaz a seguinte especificação apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Especificação para carvão mineral (IPT, 1972)

| | |
|-------------------|-----------------|
| Umidade | 0,6 % |
| Matérias voláteis | 30 % ou mais |
| Cinzas | Menos que 8 % |
| Enxofre total | Menos que 1,5 % |

O carvão vegetal tem baixo teor de matérias voláteis, sendo por isto pouco empregado. Entretanto, há alguns de alto teor em matérias voláteis que apresentaram bons resultados, e isto depende de como é destilado este carvão (COSTA, 1990). O carvão é também usado para atenuar a expansibilidade da areia. Neste caso, o carvão granulado funciona como verdadeira junta de dilatação devendo, para isto, ter granulação pouco mais fina que a da areia à qual vai ser adicionado (MURAD, 1966).

A celulignina possui algumas características parecidas com as do carvão vegetal e por este motivo foi utilizada neste trabalho como seu substituto em areias preparadas de fundição, para a moldagem de peças fundidas em alumínio.

2.4.5 Melaço

O melaço é um co-produto obtido da produção de açúcar, tanto de cana como de beterraba. Este líquido viscoso e apetecível, além de possuir qualidades nutritivas excepcionais e ser uma fonte de energia natural, também é um componente natural muito útil na produção de alimentos compostos para animais, um ingrediente muito conhecido na alimentação animal e normalmente utilizado na fabricação de areias de fundição, especialmente para a produção de areias à verde para cilindros de laminação e areia de machos para peças de cobre puro para refrigeração dos alto-fornos na Siderurgia (COSTA, 1990).

As propriedades físicas e químicas do melaço são únicas e permitem o seu uso numa grande variedade de processos industriais. Também é um substrato único para os processos de fermentação e oferece diversas vantagens, começando pelo controle da viscosidade e passando por ser uma fonte de nitrogênio para o tratamento de águas e solos (COSTA, 1990). Nas areias preparadas de fundição, o melaço é um aditivo que além de possuir atividades aglomerantes, aumenta a colapsibilidade da areia (rompe com mais facilidade quando se aplica uma força de contração do metal líquido), aumenta a resistência à compressão à seco favorecendo o manuseio de moldes maiores e melhora a condição de desmoldagem das peças produzidas (MURAD, 1966).

2.4.6 Óxido de Ferro

O óxido de ferro, encontrado no mercado nas cores vermelho e preto, é uma substância muito utilizada na prática de fundição, sendo um excelente aditivo para areia de moldagem de peças fundidas. Ele evita o aparecimento de veiamiento no fundido, aumenta a resistência à

quente da areia preparada do molde, evitando defeitos, tais como erosão, penetração, sinterização, gás, escamas e trincas (COSTA, 1990).

O óxido de ferro é também utilizado para diminuir a permeabilidade do molde, melhorando a qualidade superficial da peça, em função de ser usado sob a forma de pó, com granulometria em torno de 200 mesh. A seguir, são apresentadas algumas características dos defeitos descritos acima.

Veiamento – defeito que ocorre por trinca ou fissura na areia de fundição (mais comumente em processos de cura à frio com resinas sintéticas). O metal penetra nestas fendas formando veias, originando o defeito;

Erosão – causada pela baixa resistência do molde quando, por exemplo, o jato de metal líquido atinge a parede do molde, retirando a areia do local e levando esta areia para dentro da peça, gerando outros defeitos tais como inclusão de areia, etc;

Penetração – defeito causado geralmente por alta temperatura do metal, que penetra na areia do molde trincado, formando a excrescência;

Sinterização – geralmente causada pelo baixo ponto de sinterabilidade da areia, fazendo com que os grãos colem uns aos outros, gerando o defeito. A areia de sílica é a que possui o menor ponto de sinterização, em relação às areias de zirconita e cromita;

Gás – Oriundo da queima dos produtos constantes na areia preparada, estes gases precisam ter um local para sair do molde. Quando isto não ocorre, os gases geram porosidades (pequenos vazios) e outros defeitos correlatos;

Escamas – causadas pela baixa capacidade em absorver a dilatação da areia, que quando aquecida tem seus grãos aumentados de tamanho; é necessário estar presente um aditivo que permita a dilatação da areia, um material do tipo serragem ou carvão, que pela ação da temperatura se dissolvem, gerando espaços para suportar o crescimento dos grãos da areia. Se isto não acontece, o metal se envolve com a areia formando a escama, que fica presa na superfície da peça causando seu sucatamento;

Trinca – fissuras que ocorrem na superfície da peça, devido à alguma força contrária ao sentido de solidificação da peça, formando a trinca (impedimento da contração livre do metal durante o processo de solidificação). (SENAI, 2003).

2.5 Situação Atual do Mercado de Fundição do Alumínio

Em novembro de 2007, realizou-se o 4º ENFOCAL (Encontro entre Fornecedores e Consumidores de Alumínio), que contou com a presença de diversos especialistas dos setores produtivos e de consultoria do País, além de membros da FIESP – Federação das Indústrias de São Paulo e da ABIFA – Associação Brasileira de Fundição.

Na palestra sobre o setor de fundição de alumínio, Armando Gonçalves, sócio-gerente da Alloy's Consultoria comentou que existem alguns fatores que influenciam a performance e acabam engessando a flexibilidade das empresas, como algumas commodities, o custo da energia elétrica, a importação de máquinas, o valor da mão-de-obra e o câmbio.

Na ocasião, ele comentou sobre as novas possibilidades no uso do alumínio, como, por exemplo, a substituição de autopeças feitas de aço. A partir de informações sobre preços de sucata, matérias-primas, entre outros, ele concluiu que o mercado de consumo de alumínio irá crescer no BRIC, grupo formado pelo Brasil, Rússia, Índia e China, adicionando o volume de consumo da Europa, cujos volumes deverão substituir a queda do consumo americano em 2008.

A previsão é que o preço do alumínio atinja o valor de US\$ 3100 a tonelada, sendo que no mercado interno os preços também irão ficar no topo.

Neste encontro, os palestrantes comentaram o quanto a China e a Índia estão despontando no ranking mundial como grandes fornecedores de fundidos de alumínio e podem vir a ser uma ameaça para o Brasil, e também são grandes consumidores que acabam impulsionando os preços de matéria-prima, e como é possível aumentar a capacidade instalada diante da demanda nos próximos cinco anos, principalmente da indústria automobilística, que atualmente absorve cerca de 73 % da produção nacional.

O especialista comentou que a consequência para a indústria brasileira de transformação, caso seja mantida a atual política econômica de câmbio baixo, juros altos, carga tributária excessiva, é uma crescente perda de espaço, tanto para o mercado externo (principalmente por parte da China, que valoriza sua moeda em relação ao Dólar, e pelos Estados Unidos, que estão ampliando fortemente sua exportação) como para o mercado brasileiro, onde os produtos importados vão substituir, de forma crescente, a produção nacional. Afirma que, a médio prazo, são imprescindíveis mudanças em nossa política monetária para desestimular o capital especulativo e incentivar os investimentos produtivos (ABIFA, 2008).

Segundo Devanir Brichesi, presidente da ABIFA- Associação Brasileira de Fundição, no mundo globalizado, nenhum mercado teria fôlego para acompanhar o ritmo alucinante determinado pela China. A dinâmica do mercado deve prevalecer e sempre haverá espaço para o crescimento. Jamais o Brasil, com todos os recursos naturais privilegiando a fundição, poderá se voltar apenas para o mercado interno. O Brasil sempre será um país exportador de fundidos.

Ainda segundo Brichesi, a China ainda tem um caminho a percorrer, que é atender a sua própria demanda interna, mas por muito tempo ainda será a maior produtora de fundidos do mundo. Entretanto, alguns países têm se projetado no mercado global, como Índia e Turquia. Com a atual política cambial, o Brasil tem perdido exportações, embora se preocupe em atender com qualidade e na pontualidade, além de buscar agregar valor à peça fundida.

No mercado interno, o setor automobilístico, segundo dados da FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores, deverá crescer 20,85 % em 2008, somando mais de 5 milhões de unidades vendidas, sendo que destas 40 % são motocicletas, segmento que cresce ininterruptamente durante 14 anos.

O setor de fusão segue crescendo, como toda a cadeia de fundição, despontando-se no horizonte muitas perspectivas importantes. Destaca-se a parceria alemã da Otto Junker com a Universidade de Aachen, também da Alemanha, na busca de equipamento cada vez mais eficiente com o menor consumo de energia e menor ruído acústico (ABIFA, 2008).

O desenvolvimento do processo produtivo do alumínio, além do aumento da demanda do mercado por veículos mais leves e menos poluentes, tem intensificado a tendência pelo uso deste metal no lugar de ligas de zinco e também de ferro. No passado, a busca pela diminuição do peso e pela redução de custos levou empresas a essa migração, lembra Maurício Collin, da Daicast – SP. O executivo afirma ainda que, atualmente, as fundições têm desenvolvido e utilizado variedades de ligas de alumínio com composições que geram propriedades mecânicas capazes de se equivaler, em parte, a algumas outras que só são possíveis em ligas de zinco.

Na análise do Presidente da ABIFA, Devanir Brichesi, esta tendência está diretamente ligada à competitividade e à preservação do meio ambiente, pois além de deixar o veículo mais leve, o alumínio é 100% reciclável. No setor automobilístico, o alumínio vem sendo utilizado com frequência cada vez maior na fabricação de blocos de motores, cabeçotes, mecanismos para levantar vidros, maçanetas, suporte para retrovisores, limpadores de pára-brisas, entre outros.

Já Túlio Malzoni, da EZS Metais, levantou uma preocupação em relação ao aumento da utilização do alumínio pela indústria, pois deverá fazer com que nosso mercado cresça ainda mais e a demanda por alumínio poderá gerar desabastecimento.

Apesar da preocupação do executivo, o uso do alumínio já é uma realidade não só no setor automotivo como em outros mercados. Seja devido às vantagens de suas propriedades físico-químicas sobre outros metais utilizados no passado, seja em relação à proteção ambiental ou ao custo-benefício, é certo que existe uma tendência de crescimento na utilização do alumínio e que novos usos para esse metal ainda serão descobertos.

Na Tabela 5 é apresentado o desempenho do setor de fundição no Brasil até junho de 2008, comparado ao mesmo período do ano passado.

Tabela 5. Desempenho do setor de Fundição Junho / 2008 (ABIFA,2008)

| Período | Jun/08 | Mai/08 | Jun/07 | A/B | A/C% | Jan-Jun 2008 | Jan-Jun 2007 | D/E% |
|-----------------|---------|---------|---------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|
| Metal | (A) | (B) | (C) | | | (D) | (E) | |
| Ferro | 253.643 | 251.662 | 227.228 | 0,8 | 11,6 | 1.459.880 | 1.310.060 | 11,4 |
| Aço | 27.666 | 28.755 | 24.612 | (3,8) | 12,4 | 163.874 | 149.674 | 9,5 |
| Não Ferrosos | 19.187 | 18.879 | 19421 | 1,6 | (1,2) | 113.058 | 113.190 | (0,1) |
| Cobre | 1.563 | 1.583 | 1.714 | (1,3) | (8,8) | 9.895 | 9.752 | 1,5 |
| Zinco | 291 | 291 | 291 | - | - | 1.748 | 1.861 | (6,1) |
| Alumínio | 16.875 | 16.569 | 16.914 | 1,8 | (0,2) | 98.736 | 98.887 | (0,2) |
| Magnésio | 458 | 436 | 502 | 5,0 | (8,8) | 2.679 | 2.690 | (0,4) |
| Total | 300.496 | 299.296 | 271.261 | 0,4 | 10,8 | 1.736.812 | 1.572.924 | 10,4 |

Em 2006, a produção mundial de fundidos ultrapassou a marca de 90 milhões de toneladas, chegando a 91,4 milhões, das quais 78,0 % são produzidos pelos 7 maiores produtores, respectivamente China, USA, Japão, Índia, Alemanha e Brasil. A China desponta disparada em primeiro lugar com 12,4 milhões. O crescimento da produção mundial de ligas ferrosas foi de 6,6 % enquanto as ligas não ferrosas cresceram 10,0 %. No geral, o crescimento mundial foi de 7,2 %. A China cresceu 15,0 % enquanto o crescimento do Japão foi de 19,1 % e a Índia 17,1 %. O crescimento brasileiro foi de 4,0%. Foram consideradas 48.839 fundições o que resulta em uma produção de 1.871 toneladas por fundição/ano. Entre os 10 maiores produtores de fundidos do mundo, a maior produtividade por fundição está com a Alemanha com 8.834 toneladas por ano e em último a China com 1.081 toneladas por ano. Esta informação é um resumo do 41º Censo Global da Produção de Fundidos, editado pela revista Modern Casting em 2007. Os dados de 2007 serão publicados em Dezembro de 2008. Espera-se que a produção mundial ultrapasse os 100 milhões de toneladas (ABIFA, 2008).

2.6 A geração de resíduos

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema que ocorre em quase a totalidade das serrarias brasileiras. Segundo QUIRINO (2003), resíduo é tudo aquilo que resta de um processo de exploração ou produção, de transformação ou utilização. Os resíduos que se originam do processamento da madeira, móveis usados, artigos de madeira, moirões, estacas, bagaço de cana, palha de arroz, galhos de árvores são resíduos ligno-celulósicos que se apresentam em formas e granulometrias das

mais variadas, apresentando de modo geral, baixa densidade e alto teor de umidade (QUIRINO, 2003).

O processamento mecânico de toras durante o processo de descascamento, desdobro primário, aplainamento e usinagem gera resíduos industriais em cada uma destas etapas (TEIXEIRA, 2005). GONÇALVES & RUFFINO (1989), correlacionaram cada etapa da cadeia produtiva de madeira com a geração de tipos diferentes de resíduos, conforme indicado abaixo:

Abate de árvores: resíduos como galhos finos, galhos grossos e ápice dos troncos;

Descascamento: cascas das árvores;

Desdobro: costaneiras, tábuas e serragem fina;

Desengrosso: serragem grossa;

Serra e Fresamento: serragem fina, rejeitos e sobras;

Usinagem e acabamento: serragem fina, pó de lixamento e sobras;

Secagem: rejeitos trincados e empenados.

Estes rejeitos estão geralmente dispostos ao ar livre e expostos à chuva e demais intempéries, podendo levar a degradação ou apodrecimento por agentes biológicos (TEIXEIRA, 2005).

Embora as empresas modernas incluam em suas atividades o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, a maioria das serrarias instaladas no país ainda está despreparada para o descarte apropriado de seus rejeitos (REVISTA DA MADEIRA, 2005).

Uma das formas de preservar melhor os mananciais silviculturais é utilizá-los mais racionalmente, aproveitando-os com um índice de rendimento cada vez maior. Outra forma seria substituir a lenha por um produto equivalente. Desta forma, poder-se-ia, por exemplo, compactar resíduos ligno-celulósicos em geral (pó de serra, maravalhas, casca de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana etc.) e obter briquetes com qualidade superior a qualquer lenha (QUIRINO 1989).

A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa. Um metro cúbico de briquetes contém pelo menos 5 vezes mais energia que um metro cúbico de resíduos. Isso, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais. (QUIRINO, 1991).

No Brasil, pode-se falar de exuberância dos resíduos agroindustriais. Nos Estados de Santa Catarina a Paraná, em 1980, atingiu-se uma produção de resíduos de beneficiamento de madeira equivalentes a 924 mil toneladas de óleo combustível, superior às necessidades energéticas daqueles estados no mesmo período. A viabilidade técnica e econômica do acondicionamento desses resíduos justifica a alocação de recursos de financiamento para apoiar o aproveitamento desses resíduos como atividade econômica, bem como outras medidas que se fizerem necessárias para estruturar o mercado desse produto (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1984).

2.7 Briquetagem e processos de compactação para formação de briquetes

A necessidade de recuperar partículas finas oriundas de um processo produtivo originou o desenvolvimento da tecnologia de aglomeração. Esse avanço proporcionou o aproveitamento comercial da fração fina desses materiais, bem como minimizou o impacto ambiental causado pela produção de material fino ou particulado. Neste contexto, a briquetagem, ou seja, a aglomeração de partículas finas com auxílio da pressão, destacou-se como método adequado ao processamento desses materiais e tornou-se um método pioneiro de aglomeração. A primeira patente relacionada à briquetagem foi concedida a William

Easby, em 1848. O processo desenvolvido por Easby possibilitava a formação de aglomerados sólidos de tamanho e forma variados, a partir de frações finas de qualquer tipo de carvão, por meio da pressão exercida sobre este material. Por este processo, materiais de pequeno ou quase nenhum valor agregado podiam ser transformados em um produto de elevado valor combustível para máquinas de vapor, forjas, culinária e outras aplicações, permitindo recuperar grande parte dos finos considerados como rejeito do processo de beneficiamento de carvão (CETEM, 2007).

Em 1915 foi construída uma fábrica em Kingsport, Tennessee – USA, para produzir metanol através da destilação destrutiva da madeira. Os finos de carvão vegetal oriundos do processo eram briquetados, usando-se o alcatrão da madeira como ligante, que também era resíduo do processo de destilação. Uma outra empresa, a Ford Motor Co, construiu uma usina de briquetagem em Iron Mountain – Michigan, com fluxograma de produção completamente modificado e aperfeiçoado. A matéria-prima era constituída de aparas de madeira usada na estrutura dos veículos produzidos na Empresa. As aparas eram carbonizadas em fornos rotativos e o carvão produzido era moído posteriormente. O ligante era amido misturado com água e os briquetes eram secados em um forno tipo túnel e depois resfriados (CETEM, 1981).

Segundo DE LEON (2005), o carvão continua até hoje sendo o principal material briquetado. O processo para seu beneficiamento consiste na combinação com processos físico-químicos necessários para a remoção de enxofre e cinzas. Para facilitar o manuseio e seu transporte, torna-se necessária a operação complementar de aglomeração.

No Brasil, uma das primeiras iniciativas de utilização industrial do processo de briquetagem ocorreu no início da década de sessenta na CSBM – Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, na Usina de João Monlevade, MG, com a instalação de um equipamento da Empresa alemã Humboldt, para briquetagem de finos de carvão vegetal.

Para se efetuar a briquetagem do carvão é necessário escolher o ligante adequado. O mais comumente utilizado é o amido de milho – Mogul. Um briquete típico contém 87 % de carvão, 8 % de amido e 5 % de água (ANTUNES, 1982).

Os ligantes podem ser classificados entre os não emissores de fuligem, que incluem o amido, melação de cana e o cimento, e os emissores de fuligem, que são o piche de petróleo e o alcatrão de carvão vegetal ou mineral (ANTUNES, 1982).

A proporção de amido no briquete pode variar de 1 a 8 %, dependendo do tipo de carvão e do método usado. No caso de se usar o amido em pó, este é misturado ao carvão juntamente com 5 a 10 % de água. É necessário deixar a mistura esfriar antes da prensagem, para que a massa adquira um grau de coesão maior que o grau de adesão, contribuindo para evitar formação de trincas e colagem de material dentro das cavidades da prensa (ANTUNES, 1982).

Ainda segundo ANTUNES (1982), os seguintes aditivos são adicionados na composição dos briquetes: serragem de madeira, para introduzir o sabor defumado nos churrascos; óleo vegetal ou mineral para tornar o acendimento mais fácil; argila plástica, para evitar a formação de chamas, tornando a queima mais prolongada e suave.

Segundo QUIRINO (1991), existem cinco tipos de equipamentos ou princípios básicos de compactação de resíduos ligno-celulósicos:

1. Prensa extrusora de pistão mecânico. Tecnologia desenvolvida desde o princípio do século e bastante conhecida no mundo. Trata-se de um pistão ligado excentricamente a um grande volante força o material a ser compactado por meio de um tronco de cone. No Rio Grande do Sul existe fábrica deste equipamento, a única do país. Segundo NUCCI (1993) a umidade ideal para se efetuar a compactação pelo processo de extrusão é de 15 %.

2. Prensa extrusora de rosca sem fim. Processo muito usado para resíduos, no exterior. Apresenta excelentes resultados e seu princípio mecânico é semelhante às marombas da indústria cerâmica. É um equipamento de fácil manutenção e de investimento favorável, se comparado aos outros tipos também produzidos no exterior.

3. Prensa hidráulica. Equipamento que usa um pistão acionado hidráulicamente. O material a ser compactado é alimentado lateralmente por uma rosca sem fim. Uma peça frontal ao embolo abre e expulsa o briquete quando se atinge a pressão desejada.

4. Peletizadora. É um equipamento que opera pelo processo extrusivo. É o princípio dos equipamentos de produção de ração animal, onde há necessidade de injeção de vapor para aquecer e corrigir a umidade. Estes equipamentos vêm sendo experimentados para compactação de resíduos com resultados razoáveis.

5. Enfardadeira. Como o próprio nome indica, o equipamento comprime a massa ou resíduo, elevando a densidade do bagaço de cana com 20% de umidade a 500 kg/m^3 . Não exige pré-secagem do material, o que permite a secagem posterior. No entanto, é aconselhável o enfardamento após a secagem. É um equipamento já produzido no Brasil, usado para ração e enfardamento de bagaço de cana.

Excetuando-se as máquinas de enfardamento e as prensas de pistão hidráulico, as demais trabalham com altas pressões (acima de 1.000 kg/cm^2), produzindo calor pela fricção da extrusão. Esses dois fatores são essenciais para vencer a flexibilidade das fibras dos resíduos ligno-celulósicos, conseguindo promover e manter o empacotamento do material. Com essas prensas obtêm-se, em geral, densidades acima de $1,0 \text{ g/cm}^3$, desde que o material possua umidade adequada ao processo. Este teor deve estar em uma estreita faixa. O resíduo muito seco e o acima da umidade indicada prejudicam o empacotamento do material, ou produzem um briquete que não tem estabilidade, desfazendo-se quanto estocado ou transportado.

A Tabela 6 apresenta as características de alguns resíduos vegetais antes e depois da compactação.

Tabela 6. Características dos resíduos antes e depois da compactação (Quirino, 1991)

| Tipo de resíduo | Umidade (%) | Densidade natural (kg/m^3) | Densidade briquete (kg/m^3) | Granel (kg/m^3) | PC (kcal/kg) |
|-----------------|-------------|---------------------------------------|--|----------------------------|--------------|
| Palha de milho | 9,8 | 33 | 910 | - | 3570 |
| Pó de serra | 11,5 | 274 | 1220 | 570 | 4880 |
| Casca de arroz | 11,6 | 150 | 1280 | 610 | 3730 |
| Bagaço | 12,7 | 46 | 1100 | - | 3700 |

Com a densidade relativa aparente dos briquetes em torno de $1,1 \text{ g/cm}^3$, a densidade a granel (dependendo naturalmente da granulometria do briquete) situa-se por volta de 500 a 600 kg/m^3 , bastante superior à lenha. Isto confere uma redução de volume aos resíduos de 4 a 6 vezes. Os resíduos briquetados, pela exigência da baixa umidade do processo e pela elevada densidade relativa aparente, são menos higroscópicos e muito mais resistentes ao apodrecimento ou à fermentação do que os resíduos na condição natural, facilitando a estocagem e muito mais ainda o transporte, porque amplia o raio econômico de seu aproveitamento.

Comparado à lenha, o briquete apresenta muitas vantagens. O seu poder calorífico e o baixo teor de umidade (10 a 12%) o farão sempre superar à lenha (25 a 35% de teor de umidade). Tanto pela maior densidade como pelo maior poder calorífico ter-se-á na estocagem sempre mais energia por unidade de volume, reduzindo-se pátios de estocagem e dimensão de equipamentos de queima (QUIRINO, 1989).

A homogeneidade do formato e a granulometria regularizam e melhoram a eficiência de queima. Por outro lado, facilitam as operações de manuseio, transporte e alimentação de caldeiras, possibilitando a mecanização. Em alguns casos podem-se duplicar o rendimento de caldeiras. No entanto, é com relação ao transporte que ocorre um favorecimento significativo. As cargas são limitadas por peso e não por volume, utilizando-se a capacidade integral dos meios de transporte.

No Brasil, existe grande volume de resíduos agroindustriais de natureza lignocelulósicos, mas ainda com baixo índice de aproveitamento. Esses resíduos estão concentrados nas regiões mais populosas do país, às quais também apresentam a maior demanda de energia. Além disso, é igualmente nessas regiões onde ocorre deficiência de lenha. Apesar de o Brasil ser um grande produtor de biomassa, a sua distribuição no território nacional é irregular. A técnica de compactação de resíduos para uso energético ainda é pouco conhecida e pouco utilizada no Brasil, sendo que a importância do assunto evidencia a necessidade de maior atenção para o aproveitamento de resíduos e para o incentivo da produção e desenvolvimento de equipamentos nacionais (QUIRINO, 1989).

A Tabela 7 apresenta comparações de poder calorífico, peso específico e umidade para vários tipos de materiais briquetados.

Tabela 7. Características técnicas de briquetes de resíduos diversos (BIOMACHINE, 2006)

| Material | Casca de arroz | Resíduos de algodão | Resíduos de pinus | Resíduos de madeira de lei | Resíduos de eucalipto | Lenha comercial |
|--------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Poder calorífico kcal / kg | 3800 | 4300 | 4680 | 4900 | 4800 | 2200 a 2500 |
| Peso específico kg / dm ³ | 1,1 | 1,1 | 1,17 | 1,2 | 1,18 | 0,6 |
| Peso a granel g/ m ³ | 650 a 700 | 650 a 700 | 700 a 750 | 750 a 800 | 720 a 780 | 350 a 400 |
| Umidade % | 11 | 12 | 9 | 11 | 11 | 25 a 35 |

2.8 Material base – madeira de eucalipto

Apesar de pouco reconhecido, a madeira é um dos mais complexos materiais gerados pela natureza. A madeira é um material relativamente leve, mas apresenta alta resistência e em algumas propriedades mecânicas compara-se favoravelmente com materiais sintéticos como o aço, concreto e nylon (SOBRAL FILHO, 2006). A natureza, no entanto, impõe suas limitações. No caso da madeira, o tamanho das peças fornecidas por uma árvore é limitado pelas dimensões da mesma. Na prática, isto significa que as tábuas de madeira raramente excedem um metro de largura, sendo que a maior parte da produção está limitada a largura inferiores a 50 cm. O comprimento das peças de madeira está limitado ao comprimento da parte comercial do tronco da árvore (SOBRAL FILHO, 2006).

As espécies florestais são de grande importância para a economia, pois oferecem uma ampla gama de produtos, como madeira para construção, biomassa para a produção de polpa de celulose e papel, assim como uma série de subprodutos para a indústria de cosméticos, farmacêutica, alimentícia etc. (GUIMARÃES et al., 2001). Uma das características mais desejadas em espécies florestais é uma alta produtividade relacionada com o crescimento acentuado do tronco, produto mais importante para as indústrias madeireira e de celulose e papel (GUIMARÃES et al., 2001).

Uma outra deficiência da madeira é o seu caráter anisotrópico. A resistência mecânica da madeira aproxima-se do comportamento de um material ortotrópico, sendo que a madeira é comumente tratada como um material de simetria rômica, possuindo nove constantes elásticas independentes. A resistência mecânica da madeira poderia assim ser quantificada em três eixos, tomando-se como referência a direção das fibras: eixo longitudinal, eixo tangencial e eixo radial. A resistência mecânica ao longo do eixo longitudinal é muito maior que ao longo dos eixos tangencial e radial, e usando-se uma simplificação adicional, pode-se assumir apenas dois eixos direcionais, um longitudinal e o outro transversal (SOBRAL FILHO, 2006).

Além da madeira e da celulose, os plantios florestais podem oferecer outros produtos, como resinas, óleos essenciais e medicamentos, além de colaborar para o seqüestro de carbono e contribuir para a conservação das florestas naturais (SOARES et al., 2003).

No Brasil, as plantações florestais são compostas principalmente por espécies de híbridos e clones de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e de pinheiro (*Pinus* spp.), cuja área plantada é de 4,8 milhões de hectares, em especial nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. O gênero *Eucalypto* pertence à família Myrtaceae, que é um dos gêneros predominantes da flora australiana, estendendo-se das áreas subalpinas às florestas úmidas costeiras, às florestas temperadas e à zona mais árida da Austrália.

O gênero *Eucalyptus* cobre a maior área dos reflorestamentos no mundo. Desde que a madeira de eucalipto passou a ser usada para a produção de celulose e papel, fato ocorrido na Europa, por volta de 1919, muitas espécies vêm ganhando crescente importância e tornando-se mundialmente expressivas. Mas ainda com relação aos eucaliptos, existem mais de 700 espécies em sua área de ocorrência natural, porém, somente um pequeno número tem sido utilizado pela indústria. A diversidade de espécies, que é fator importantíssimo sob a ótica do melhoramento florestal e da seleção de materiais, permite considerar o eucalipto como potencial fornecedor de uma madeira bem definida para a produção de múltiplos produtos (TRUGILHO et al., 1997). Essas diversas espécies de eucalipto possuem em média a seguinte composição química da madeira: 40-62% de celulose, 12-22 % de hemicelulose e 15-25 % de lignina (HILLIS & BROWN, 1984).

De maneira mais generalizada, com relação aos constituintes químicos da madeira, obtém-se a seguinte distribuição segundo o CETEC (1982) e FUPEF (1978):

- a) Carboidratos = 75 % , contendo principalmente celulose, poliose (hemicelulose), amido, substâncias pécticas e polissacarídeos solúveis em água;
- b) Substâncias fenólicas = 20 a 30 % , que são a lignina, taninos e outros;
- c) Terpenos = podem chegar a 5 % , que correspondem às resinas (pinus);
- d) Ácidos alifáticos (ácidos graxos);
- e) Álcoois;
- f) Proteínas (boa porção dos tecidos em desenvolvimento) e
- g) Constituintes inorgânicos = óxidos de Ca, Na , K, Fe e Al

Segundo o CETEC (1982), a composição química média das madeiras pode então ser verificada na Tabela 8.

Tabela 8. Composição química da madeira de coníferas e folhosas (CETEC,1982)

| Constituinte | Coníferas (%) | Folhosas (%) | Média (%) |
|--------------|-----------------|----------------|-------------|
| Carbono | 50 – 54 | 49 – 50 | 50 |
| Oxigênio | 40 – 44,4 | 41 – 44 | 43,7 |
| Hidrogênio | 5,8 – 6,3 | 5,8-6,2 | 6 |
| Nitrogênio | 0,2 – 0,3 | 0,2 – 0,3 | 0,3 |

O estudo qualitativo e quantitativo dos constituintes químicos do eucalipto pode levar à obtenção de vários outros produtos, tais como as resinas (TRUGILHO et al., 1997 e SANTOS & CURVELO, 1999).

A utilização do eucalipto na produção de celulose e papel, a partir dos anos 40, transformou essa árvore na principal matéria-prima das indústrias do setor (GONZÁLES et al., 2002). A indústria brasileira de papel e celulose tem crescido rapidamente nas últimas décadas, tornando-se, na década de 90, a sétima maior produtora de celulose, e décima primeira em produção de papel.

No Brasil, a madeira de espécies do gênero *Eucalypto* vem se constituindo em uma das principais fontes de matéria-prima para as indústrias de base florestal devido, mais uma vez, a sua alta capacidade de adaptação em diferentes ambientes (TRUGILHO et al., 1997). Segundo SOUZA (2004), o *Eucalyptus grandis* é a espécie florestal mais plantada, pois, possui excelente resposta silvicultural, como boa forma e rápido crescimento, além de propriedades desejáveis para usos múltiplos da sua madeira, sendo que ocorre naturalmente em solos aluviais ou de origem vulcânica, nos vales e planícies ao longo da costa leste australiana.

Segundo BRANDÃO (2005), serragem ou pó de madeira é um material finamente pulverizado obtido nas máquinas que trabalham a madeira, sendo utilizada em fundições para melhorar o acabamento superficial da peça, a sua limpeza e a colapsidade no molde. Sua função principal é atenuar a expansão da areia atuando como junta de dilatação. As quantidades comumente empregadas são de 0,5% a 2% sobre o peso da areia preparada de fundição.

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DE TANINO E DERIVADOS LIGNO-CELULÓSICOS NA PREPARAÇÃO DE AREIAS DE FUNDIÇÃO

RESUMO

O processo de fundição utiliza a areia como base, sendo esta o insumo de maior importância. Mas no processo, a areia não é o único elemento essencial para se trabalhar, sendo necessária uma mistura onde cada grão da areia é envolvido por uma camada de aglomerante e depois pelo catalisador, que normalmente é a água. Além destes dois componentes, ainda são usados outros com finalidades distintas, porém, bem definidas. Normalmente, usa-se o mogul, carvão mineral, melaço, entre outros produtos, chamados aditivos. O objetivo desse capítulo foi avaliar a aplicação de tanino e da celulignina como aglomerantes e/ou aditivos para a areia preparada de fundição de alumínio e suas ligas, para o processo de moldagem à verde, processo este em que a água funciona como catalisador que promove a aglomeração dos grãos da areia base. Primeiramente testou-se a utilização do tanino em pó e em misturas com água em diferentes proporções na composição de areias com o intuito de substituir ou reduzir a quantidade de argila a ser empregada. Os resultados mostraram que a combinação de tanino:água (50:50), de modo geral, foi a melhor mistura para ser empregada. A partir desta mistura, avaliou-se a utilização do tanino em conjunto com a celulignina como aditivos para a preparação de areias e por último, testou-se a utilização de tanino para substituição de melaço nas areias de moldagem de peças fundidas. Os resultados mostraram que é possível substituir carvão mineral na composição de areia de fundição por uma mistura de tanino e celulignina e que também o melaço pode ser substituído pelo tanino. O tanino, por suas propriedades adesivas quando em contato com a água, fornece sua contribuição no quesito resistência à compressão da areia, favorecendo o manuseio dos moldes produzidos pelo processo de moldagem à verde. A celulignina, por sua vez, contribui com a colapsibilidade da areia, que é uma propriedade necessária para a utilização da areia no processo de fundição.

Palavras chaves: aglomerante, aditivos, carvão mineral

ABSTRACT

Foundry uses sand as a base, being its most important component. However, sand is not the only essential element with which to work, a mixture being necessary where each grain of sand is involved by a layer of glueing and then by the catalyst, which is generally water. Besides these two components, others are used with different but well defined objectives. Normally mogul, mineral coal, molasses, among other products, called additives, are used. The goal of this chapter was to evaluate the application of tannin and cellulignin as glueing and/or additives to the foundry sand of aluminum and its alloys, in the process of green molding, a process in which water acts as a catalyst promoting the agglomeration of the grains of the base sand. First to be tested was the utilization of tannin powder mixed to water in different proportions in the composition of sands, with the goal of replacing or reducing the amount of clay employed. The combination of tannin:water (50:50) was considered the best one for the confection of sands. This mixture was used as a starting point to evaluate the use of tannin in conjunction with cellulignin as additives for the preparation of sand. Last, the use of tannin as a replacement for molasses in the sands for molding of cast pieces was tested. Results have shown that it is possible to replace mineral coal in the composition of foundry sand with a mixture of tannin and cellulignin, and that molasses can be replaced with tannin. Tannin, for its adhesive properties when in contact with water, contributes to the resistance to compression of the sand, favoring the handling of the molds produced by the process of green molding. Cellulignin, on the other hand, contributes to the collapsibility of the sand, a necessary property for the utilization of sand in the casting process.

Key words: glueing, additives, mineral coal

1. INTRODUÇÃO

O setor produtivo da fundição desempenha um papel importante na vida de todas as pessoas. Exemplos de utilidades provenientes deste ramo de negócios podem ser citados como automóveis, tratores e aviões. O processo de fundição, dentre outros processos, tais como soldagem, laminação, metalurgia do pó, forjamento e usinagem é o que obtém melhores resultados econômicos, pois possibilita a fabricação de peças com peso que varia de gramas até toneladas, com geometrias das mais variadas e é capaz de utilizar qualquer tipo de metal, o que não ocorre com outros processos, em que o tipo de metal limita sua utilização.

No setor de fundição de uma empresa, a areia é o insumo de grande importância para a fábrica. Embora seu custo por quilo seja baixo, a areia torna-se o item de maior valor na análise geral, visto influenciar enormemente o custo final da peça, pois seu consumo é extremamente elevado. O inverso ocorre com o ferro-molibdênio, por exemplo, onde em uma fundição de usina siderúrgica integrada, gera um custo mínimo para a empresa, em função do baixo consumo, apesar do altíssimo preço por quilo. Portanto, quando se analisa o custo versus consumo, a areia torna-se o item de maior importância para o custo de uma fundição, sem contar as dificuldades causadas pelo descarte deste material. Em empresas de grande porte, é comum o processo de regeneração desta areia, que é a transformação da areia recuperada para a areia semi-nova. Já empresas de pequeno porte sofrem com o desperdício causado pelo descarte desta areia, que, cabe ressaltar, também é nocivo ao meio ambiente. As areias do tipo Shell Molding, curadas por temperaturas e cobertas com resinas, têm seu descarte proibido pela legislação ambiental vigente, gerando sérios problemas para as fundições que fazem uso deste material em seu processo produtivo.

Sendo assim, além da areia preparada de fundição ser um item caro para a indústria de fundição, também gera outros inúmeros problemas por defeitos originários de sua má utilização, tais como, inclusões, expansão térmica, quedas de areia, entre outros. No processo de fundição, são empregados aditivos e aglomerantes, sendo os mais comuns mogul, carvão vegetal e melação.

No presente trabalho, também utilizamos produtos originários da madeira, que é um dos mais fantásticos materiais. Esta apresenta em sua composição diferentes componentes químicos, que podem ser facilmente solubilizados. Esses componentes, chamados de extrativos, desempenham papéis importantes no uso da madeira. Os taninos são exemplos desses componentes químicos, sendo utilizados para diversas finalidades, como por exemplo para curtimento de couro e produção de adesivos. Os taninos são componentes polifenólicos que ocorrem em diversas plantas superiores, sendo solúveis em água.

Os extrativos da casca de acácia negra e da madeira do quebracho são os mais importantes taninos produzidos industrialmente. Os taninos condensados constituem mais de 90 % da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350000 ton/ano (GUANGCHENG et al., 1991). No Brasil, os taninos são obtidos da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*), em plantios no estado do Rio Grande do Sul. A maior unidade de produção de extratos vegetais tanantes do mundo está localizada no Brasil, sendo que cerca de 30% do tanino (total de 30.000 ton/ano) ficam no mercado interno e os outros 70% são exportados para mais de 70 países (SBS, 2006).

A celulignina é um resíduo obtido a partir da pré-hidrólise ácida de madeira. Através do processo, é gerado o resíduo chamado celulignina, em que a celulose e lignina são modificadas. A finalidade desse resíduo é ser utilizado como combustível.

Pelo exposto acima, o presente trabalho tem a finalidade de avaliar alternativas para o uso de novos aglomerantes e aditivos que compõem a areia de fundição. Assim, o objetivo

geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade de utilização do tanino de acácia negra e da celulignina como aglomerantes e/ou aditivos para a areia preparada de fundição do alumínio e suas ligas, para o processo de moldagem à verde. Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a melhor forma de utilizar o tanino para composição de areias de fundição, com o intuito de se reduzir a quantidade de argila na composição dessas areias;
- Avaliar a melhor proporção de tanino e celulignina para substituir o carvão mineral na composição de areias;
- Avaliar a possibilidade de utilização de tanino em substituição ao melaço na composição de areias de fundição

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais Empregados na Fundição

Nos ensaios, foram utilizados os materiais tradicionalmente empregados na fundição como: areia nova de fundição, argila, mogul, melaço, óxido de ferro, carvão mineral, sendo substituídos por novos materiais como tanino e celulignina.

A argila e o mogul foram fornecidos pela empresa Metalúrgica Vulcano Ltda, situada em Barra Mansa – RJ, tendo adquirido os materiais respectivamente das empresas Bentonorte e Adram S/A Indústria e Comércio. As especificações da argila e do mogul estão transcritas abaixo:

- Argila ativada

Umidade: 7 % máx - segundo Norma CEMP 105 (anexo)

SiO₂ + Al₂O₃: 72 % mínimo

Fe₂O₃: 12 % máximo

Poder aglomerante: 0,50 Kg / cm² mínimo

Inchação: 20 vezes mínimo

Granulometria: 95 % através da malha 100

- Mogul (amido de milho)

Umidade: 10 a 14 % - segundo Norma CEMP 105 (anexo)

pH: 4,5 a 5,5 %

Cinzas: 0,2 % máximo

Proteínas: 0,4 máx

Viscosidade Brabender: 480 uB min

SO₂ : 80 ppm Max

A areia nova de fundição (MF 45) foi fornecida pela Amsted-Maxion, Cruzeiro – SP, tendo como especificações os seguintes valores:

Forma de grão: sub angular

Módulo de Finura (MF): 45 a 55 AFS – Norma CEMP 102

Teor de finos: 5 % máximo

SiO₂: 98 % mínimo

O óxido de ferro foi adquirido no mercado varejista de obras civis, por tratar-se do material conhecido como vermelhão, tendo sido adquirido nas lojas de material de construção União Carvalheira de Volta Redonda – RJ. Este material possui como especificações técnicas os valores abaixo discriminados e regidos pela Norma CEMP 131.

PPC: 1,5 % máximo (Perda por combustão)

Al₂O₃ : 8 a 11 %

Fe₂O₃ : 56 a 62 %

Silicatos e óxidos não metálicos: 24 a 28 %

MgO: 0,17 a 0,19 %

Cão: 0,8 a 0,10 %

P: 0,10 a 0,13 %

Mn: 0,20 a 0,27 %

S: 0,03 %

Granulometria: 90 % passável em 200 mesh

O melaço e o carvão mineral foram cedidos pela CSN, Cia Siderúrgica Nacional e estavam em estoque na UFF-EEIMVR. O melaço não possui especificações técnicas disponíveis e o carvão mineral em pó possui as seguintes características:

Umidade: 2 % máximo - segundo Norma CEMP 105 (anexo)

Carbono fixo: 50 % mínimo (Norma CEMP 145 – anexo)

Cinzas: 14,5 % máximo

Matérias Voláteis: 34 % mínimo

Granulometria: 90 % passável na peneira 100 mesh e 55 % passável na peneira 200 mesh.

O tanino, denominado Phenotan M, foi obtido da Empresa TANAC S/A de Montenegro – RS, apresentando teor de carbono em torno de 24,0 a 26,0 %. Trata-se de um extrato vegetal conhecido também como Mimosa, oriundo das cascas de acácia negra (*Acacia mearnsii*) plantadas no Estado do Rio Grande do Sul. O material encontrava-se na forma de pó, de coloração marrom, com pH em torno de 4,0 a 5,0, não se conhecendo nenhum efeito toxicológico sobre o homem.

A celulignina foi obtida através do Programa BEM, Biomassa, Energia e Materiais, conduzido pelo Prof. Dr. Daltro Garcia Pinatti, USP – Lorena, em associação com a RM – Materiais Refratários Ltda, uma Empresa do Grupo Peixoto de Castro – GPC.

2.2 Análise das propriedades químicas da celulignina

Para celulignina, foram feitas análises de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, sendo os ensaios realizados na CSN- SGPD – Companhia Siderúrgica Nacional – Setor de Pesquisa e Desenvolvimento (Norma CEMP 138 e 141). Na análise foram feitas 4 repetições.

2.2.1 Análise granulométrica da celulignina

A análise da granulometria da celulignina foi baseada em norma ASTM, sendo realizada pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas e os dados fornecidos por LOPES (2008).

2.2.2 Ensaio de Poder calorífico superior

O ensaio foi também realizado pelo IPT- SP, e os dados foram obtidos de trabalho sobre a celulignina utilizada nesta pesquisa (LOPES, 2008).

2.2.3 Determinação do teor de umidade (base úmida)

O ensaio da umidade foi executado no laboratório de Areias de Fundição da UFF-EEIMVR, utilizando-se estufa George Fischer e balança GEHAKA BK 3000. Foram pesadas 50 gramas de celulignina e a amostra foi encaminhada à estufa à 110 °C durante 1 hora. Foi feito o procedimento até a constância de peso, sendo:

$U = (P_u - P_s) / P_u$, onde P_u = peso úmido, P_s é o peso seco e U a umidade (%).

2.3 Ensaios de areia nova, argila, mogul, óxido de ferro, tanino e carvão mineral

Os ensaios das características dos materiais foram realizados nas instalações da BR Metal's, Cia Siderúrgica Nacional e UFF, Laboratório de Areias de Fundição da EEIMVR – Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda.

2.4 Preparação de Areias de Fundição

Para a realização dos ensaios em areias de fundição, utilizou-se o Laboratório de Areias de Fundição da Universidade Federal Fluminense – UFF, EEIMVR, Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Misturador de laboratório com as duas mós e o funil para abastecimento de água



Figura 2. Martetele para confecção dos corpos-de-prova das areias de fundição

2.5 Ensaio de Resistência à compressão à verde (úmida) e Ensaio de Fendilhamento

O corpo-de-prova cilíndrico é comprimido pela máquina na posição vertical e a leitura da força é feita na escala de fendilhamento à verde – Green Shear, vide Figura 3. No ensaio de compressão, o CP fica invertido, na horizontal e a leitura é feita na escala Green Compression conforme indica a Figura 4 abaixo.



Figura 3. Ilustração do aparelho de ensaio da resistência ao fendilhamento



Figura 4. Ilustração do aparelho de ensaio de resistência à compressão

2.6 Ensaio de Plasticidade

É a propriedade que indica a capacidade da areia preparada em assumir formas diferentes e mantê-la, sendo calculada pelo quociente da resistência ao fendilhamento e a resistência a compressão à verde, devendo situar-se entre 20 e 35 %.

2.7 Ensaio de Permeabilidade

Este ensaio mede a resistência da areia preparada quanto à passagem de gases em seu interior, onde dentro da campânula uma coluna de água aciona um reservatório de ar, que é forçado a atravessar o molde que está posicionado à direita da máquina. A máquina fornece o resultado em duas escalas (vermelha e azul), dependendo da ordem de grandeza do valor esperado, sendo de 0 a 50 AFS (Association Foundrymen`s Standard) obtido na escala azul e valores situados entre 0 e 500 na escala vermelha. Estes valores (Gd) são expressos pela fórmula:

$Gd = Q \cdot h / F \cdot p \cdot t$, onde:

Gd= Permeabilidade do gás, em AFS

Q = Passagem do volume de ar (2000 cm³)

h = peso do material em teste, em gramas

F = área da seção do CP em teste (19,63 cm²)

P = pressão da coluna de água em cm

t = tempo da passagem de 2000 cm³ de ar em minutos

2.8 Ensaio de moldabilidade

Em termos de fundição, um item de extrema importância é a capacidade da areia preparada em assumir formas quando nela é exercida uma força. Assim, no momento em que se aplica uma força sobre a areia colocada sobre um modelo, ela deve assumir a geometria deste modelo, e, na retirada do mesmo, deve manter todos os detalhes que compõem esta geometria. A esta propriedade dá-se o nome de moldabilidade.

Com a finalidade de se avaliar a moldabilidade de um determinado traço (mistura) da areia, utiliza-se o seguinte método:

O traço pesquisado é peneirado através de malha fixa no funil de moldabilidade e encaminhado para o molde de confecção dos CPs até o preenchimento total do mesmo. Em seguida, o molde é levado ao martetele onde são realizadas três batidas, medindo-se o corpo-de-prova cilíndrico obtido. O valor ideal deve estar situado em torno de 51 mm. Acima deste valor, o traço de areia analisado é recusado.

Com a experiência adquirida ao longo dos anos de militância em uma fundição, o fundidor conhece a moldabilidade da areia preparada com um simples toque de mão, onde se comprime uma certa quantidade de areia e se observa se seus dedos ficaram impressos com perfeição. Também pela força que se consegue romper o bolo formado pela sua mão, avalia-se a resistência da areia. Mas isto só funciona com o tempo de experiência do fundidor na área de moldagem de uma fundição. Neste trabalho, em alguns casos, usufruímos desta experiência para avaliar o traço pesquisado com relação a sua moldabilidade.

2.9 Realização do processo de prensagem dos CPs

Nesta fase, utiliza-se o martetele mostrado na Figura 2, sendo os CPs produzidos através de 3 batidas consecutivas do martelo no molde previamente pesado com o traço a ser pesquisado.

2.10 Tratamentos utilizados nas areias de fundição

O trabalho foi montado partindo-se do princípio que o tanino, por suas propriedades aglutinantes, poderia substituir a argila ativada no processo de preparação das areias de moldagem de fundição. Realizou-se o estudo com o tanino puro e soluções de tanino com a água, que denominamos como teste 1. Em segundo lugar, como teste 2, estudou-se a utilização do tanino em conjunto com a celulignina como aditivos para a preparação das areias mencionadas, fazendo as funções do carvão mineral, e por último, o teste 3, que previu a substituição total do melaço pelo tanino nas areias de moldagem de peças fundidas.

Foram planejados para este trabalho 7 tratamentos para cada traço, registrando-se a média encontrada em 3 repetições para cada tratamento, conforme norma CEMP – Comissão de Ensaio de Matérias Primas,

2.10.1 Utilização do tanino como substituto parcial do aglomerante argila na preparação de areias de moldagem de fundição (Teste 1)

Nesta primeira parte, estudou-se a utilização do tanino com substituição parcial ou total ao componente argila, constituinte usual em areias de fundição e idealizou-se as seguintes misturas (M) em conjunto com o tanino puro e com soluções de tanino e água, sendo que também variou-se os teores de mogul, outro insumo constantemente utilizado em areias de fundição. Os tratamentos estão apresentados nas Tabelas 11 a 15. Para cada mistura foi realizado o teste de resistência à compressão verde.

2.10.2 Utilização da solução tanino/água em adição à celulignina em substituição ao carvão mineral (Teste 2)

O planejamento para a aplicação da celulignina e do tanino como elemento de adição na areia preparada de fundição (aditivos) visa a substituição do carvão mineral e do melaço, materiais amplamente utilizados em misturas de areias preparadas de fundição.

Tendo em vista a obtenção da solução tanino/água 50:50 como sendo aquela que melhores resultados apresentaram, resultados apresentados no item 4, adotou-se neste planejamento esta solução em adição à celulignina, conforme mostrado em seguida (Tabelas 16 a 20). Para cada mistura foi realizado o teste de resistência à compressão verde. Os percentuais de celulignina foram 4,0 %, 4,5 %, 6,5 % e 8,0 %, formando os traços T6, T7, T8 e T9, respectivamente.

2.10.2.1 Comparação do melhor traço de celulignina com o padrão de fundições

Após a identificação da melhor mistura, onde analisou-se o parâmetro resistência à compressão, obtida com a utilização do tanino e da celulignina, foram realizados ensaios com

essa mistura e com a mistura usual da fundição, avaliando-se novamente a resistência à compressão à verde, e também a resistência à compressão à seco, fendilhamento, plasticidade, permeabilidade e moldabilidade. Os ensaios foram realizados conforme descrito nos itens 2.5 à 2.8. Foram fabricados 5 corpos-de-prova com diâmetro de 51 mm x 51 mm de altura, cilíndricos de dimensões padronizadas pela CEMP para cada mistura. Para cada ensaio avaliado, procedeu-se análise de variância e havendo diferença significativa entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Scott-Knot ao nível de 5 % de significância para comparação das médias.

2.10.3 Aplicação do tanino como aditivo em substituição ao melaço (Teste 3)

Nesta fase, foram realizados experimentos tentando obter a proporção ideal para a substituição do melaço pela solução aprovada de tanino e água 50/50, chegando-se pela experiência obtida com os demais experimentos, diretamente às misturas indicadas na Tabela 21.

Para cada mistura, determinou-se a resistência à compressão à verde, sendo que a meta era obter valores iguais ou superiores a 7,0 psi/min. Para as misturas que atingissem esse valor seriam feitos novos corpos-de-prova para comparação com corpos-de-prova fabricados com a mistura padrão que continha melaço (mistura M2).

Os corpos-de-prova foram avaliados quanto à resistência à compressão verde, resistência à compressão seco, resistência ao fendilhamento, plasticidade e permeabilidade, sendo efetuados 5 repetições para cada mistura. Procedeu-se a análise de variância dos tratamentos e havendo diferença significativa entre os tratamentos aplicou-se o teste de Scott-Knot ao nível de 5 % de probabilidade para comparação entre as médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados dos ensaios para a celulignina

3.1.1 Análise Química da celulignina

Os resultados da análise química da celulignina são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22. Resultado de análise química da celulignina

| Amostra | Carbono fixo % | Matérias Voláteis % | Cinzas % |
|-----------|----------------|---------------------|----------|
| Amostra 1 | 16,39 | 77,43 | 6,17 |
| Amostra 2 | 21,87 | 74,76 | 3,37 |
| Amostra 3 | 20,98 | 73,51 | 5,51 |
| Amostra 4 | 19,63 | 76,45 | 3,92 |
| Média | 19,71 | 75,55 | 4,74 |

A análise revelou um teor de carbono fixo próximo de 20 % para a celulignina, valor bem inferior ao encontrado, por exemplo, em carvão mineral, que foi de 53,4 % (ver item 4.7). O mesmo ocorreu com materiais voláteis, onde o valor encontrado para carvão mineral foi de 38%.

3.1.2 Análise de Umidade

O valor médio do teor de umidade da celulignina ficou em 6 %.

3.1.3 Ensaio de análise granulométrica

O resultado está apresentado na Tabela 23. Observa-se que o material ficou concentrado nas peneiras de abertura entre 4,75 mm à 9,5 mm, perfazendo-se um percentual de 49,67 %.

Tabela 23. Ensaio granulométrico da celulignina

| Abertura de malhas das peneiras | | Porcentagem retida | |
|---------------------------------|-------|--------------------|-----------|
| | | Individual | Acumulada |
| Número | mm | % | % |
| - | 26,5 | 0,00 | 0,00 |
| - | 19,0 | 5,03 | 5,03 |
| - | 13,2 | 7,59 | 12,62 |
| - | 9,5 | 19,17 | 31,79 |
| - | 6,70 | 20,72 | 52,51 |
| 4 | 4,75 | 9,78 | 62,29 |
| 6 | 3,35 | 6,07 | 68,36 |
| 8 | 2,36 | 5,70 | 74,06 |
| 12 | 1,70 | 6,33 | 80,39 |
| 16 | 1,18 | 4,08 | 84,47 |
| 20 | 0,850 | 5,57 | 90,04 |
| 30 | 0,600 | 2,93 | 92,97 |
| 40 | 0,425 | 2,09 | 95,06 |
| 50 | 0,300 | 1,35 | 96,41 |
| 70 | 0,212 | 1,15 | 97,56 |
| 100 | 0,150 | 0,66 | 98,22 |
| 140 | 0,106 | 0,49 | 98,71 |
| 200 | 0,075 | 0,43 | 99,14 |
| 270 | 0,053 | 0,17 | 99,31 |
| 400 | 0,038 | 0,35 | 99,66 |
| Fundo | 0 | 0,34 | 100,00 |
| Total | | 100,00 | |

3.1.4 Poder calorífico superior

O valor médio encontrado foi de 5175 kcal/kg .

3.2 Resultados da areia nova de fundição MF 45

Os resultados do ensaio granulométrico (Módulo de Finura – MF), do tipo de grão, da umidade, da percentagem de finos e do teor de sílica é mostrado na Tabela 24.

Tabela 24. Resultados do ensaio granulométrico, do tipo de grão, da umidade, da percentagem de finos e do teor de sílica da areia nova

| Material | MF | Grão | Umidade(%) | Finos (%) | Sílica (%) |
|------------|----|-------------|------------|-----------|------------|
| Areia nova | 50 | Sub-angular | 3,2 | 4,3 | 99,2 |

3.3 Resultados da argila

A Tabela 25 mostra os resultados dos ensaios efetuados na argila ativada.

Tabela 25. Resultados de ensaios realizados na argila

| Material | Umidade (%) | Poder aglomerante (kg/cm ²) | Inchação (vezes) |
|----------|---------------|--|------------------|
| Argila | 9,3 | 0,65 | 22 |

3.4 Resultados do mogul

O valor de umidade do mogul ficou situado em 12,0 %. Os valores para proteínas, cinzas, pH, viscosidade e SO₂ estão indicados na Tabela 26.

Tabela 26. Resultados da análise efetuada no mogul

| Material | Proteínas (%) | Cinzas (%) | Viscosidade (uB) | SO ₂ (ppm) |
|----------|-----------------|--------------|-------------------|-------------------------|
| Mogul | 0,32 | 0,18 | 475 | 52 |

Obs. viscosidade Brabender

3.5 Resultados do óxido de ferro

Os seguintes valores foram encontrados:

PPC: 1,2 %

Al₂O₃ : 9,3 %

Fe₂O₃ : 61,2 %

Silicatos e óxidos não metálicos: 23,92 %

MgO: 0,18 %

CaO: 0,9 %

P: 0,11 %

Mn: 0,21 %

S: 0,03 %

Granulometria: 91 % passável em 200 mesh

3.6 Resultados do tanino

Para o tanino, a análise química do teor de carbono foi de 24,90 %.

3.7 Resultado do Carvão mineral

A Tabela 27 apresenta as características do carvão mineral.

Tabela 27. Análise das propriedades carvão mineral

| Material | Umidade(%) | C fixo (%) | Cinzas (%) | Voláteis (%) |
|----------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Carvão | 1,42 | 53,4 | 13,2 | 38,0 |

O resultado para o ensaio granulométrico foi: 92,0 % passável na peneira 100 mesh e 56,0 % passável na peneira 200 mesh.

3.8 Resultados dos ensaios com as misturas planejadas

Os resultados são medidos inicialmente para apenas uma propriedade da areia preparada, que é a resistência à compressão à verde (úmida), que deve atingir o valor mínimo de 7,5 psi. Se a mistura não resultar neste valor, está reprovada para uso na fundição.

Esta fase do trabalho foi dividida em três (03) partes, a saber:

3.8.1 Utilização do tanino como substituto parcial do aglomerante argila (Teste 1)

a) Utilizando-se 100 % de tanino na misturas – Traço T1

Na Tabela 29, verifica-se os resultados obtidos na análise das misturas realizadas ao se usar o tanino puro como aglomerante em substituição da argila.

Tabela 29. Resultados dos ensaios com tanino

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,5 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 4 | Muito plástica | |
| M 5 | Sem moldabilidade | |
| M 6 | Sem moldabilidade | |
| M 7 | Sem moldabilidade | |
| M 8 | Sem moldabilidade | |
| M 9 | Sem moldabilidade | |
| M 10 | Sem moldabilidade | |

Ressalta-se que a falta de moldabilidade indica que a mistura testada não apresentou capacidade em assumir o formato desejado quando aplicada uma força.

b) Utilizando-se 80 % de tanino e 20 % de água – Traço T2

Os resultados dos ensaios são mostrados abaixo, conforme a Tabela 31.

Tabela 31. Resultados de ensaios para as diferentes misturas com tanino 80:20

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,5 psi min |
|-------------------|---|-------------------|
| M 11 | RCv= 4 psi (Resist. Compressão à verde) | |
| M 12 | RCv= 4 psi (Resist. Compressão à verde) | |
| M 13 | Sem moldabilidade | |
| M 14 | Sem moldabilidade | |
| M 15 | Sem moldabilidade | |
| M 16 | Sem moldabilidade | |
| M 17 | Sem moldabilidade | |

c) Usando 45 % de tanino e 55 % de água – Traço T3

Os resultados estão apresentados na Tabela 33, abaixo:

Tabela 33. Resultados dos ensaios das diferentes misturas com tanino 45:55

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,5 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 18 | Sem moldabilidade | |
| M 19 | Sem moldabilidade | |
| M 20 | RCv= 2,5 psi | |
| M 21 | Sem moldabilidade | |
| M 22 | RCv= 3,0 psi | |
| M 23 | Sem moldabilidade | |
| M 24 | Sem moldabilidade | |

d) Utilizando-se 55 % de tanino e 45 % de água – T4

Os resultados dos ensaios com a solução tanino água a 55:45 são mostrados a seguir, na Tabela 35.

Tabela 35. Resultado de ensaios das diferentes misturas com tanino 55:45

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,5 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 25 | Sem moldabilidade | |
| M 26 | RCv= 2,8 psi | |
| M 27 | Sem moldabilidade | |
| M 28 | Sem moldabilidade | |
| M 29 | RCv= 3,2 | |
| M 30 | Sem moldabilidade | |
| M 31 | Sem moldabilidade | |

e) Utilizando-se 50 % de tanino e 50 % de água (T5)

Os resultados estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 37. Resultado dos ensaios das diferentes misturas com tanino 50:50

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,5 psi min |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| M 32 | RCv= 5,3 psi | Melhor resultado |
| M 33 | RCv= 4,7 psi | |
| M 34 | RCv= 4,0 psi | |
| M 35 | Sem moldabilidade | |
| M 36 | Muito mole – sem moldabilidade | |
| M 37 | RCv= 4,6 psi | |
| M 38 | RCV= 4,8 psi | |

Os resultados evidenciaram que o tanino não substituiu a argila e mogul na areia preparada de fundição, sendo a maior resistência obtida na mistura M 32 que atingiu 5,3 psi , mas estando muito abaixo da meta para esta propriedade que é de 7,5 psi mínimo.

3.8.2 Utilização da solução tanino / água em adição a celulignina em substituição ao carvão mineral (Teste 2)

O planejamento para a aplicação da celulignina e do tanino como elemento de adição na areia preparada de fundição (aditivos) visa a substituição do carvão mineral, material utilizado em misturas de areias preparadas de fundição.

Tendo em vista a obtenção da solução tanino água 50:50 como sendo aquela que melhores resultados apresentaram adotou-se neste planejamento esta solução em adição com a celulignina, conforme mostrado em seguida:

a) Usando 4,0 % de celulignina - Traço T6

A Tabela 40 indica os resultados das composições das misturas que levam em sua composição 4,0 % de celulignina, variando-se o percentual de tanino em cada mistura efetuada:

Tabela 40. Resultados de ensaios das misturas com a celulignina a 4%

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,0 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 39 | RCv=4,0 psi | |
| M 40 | RCv= 5,0 psi | |
| M 41 | Sem moldabilidade | |
| M 42 | RCv= 6,3 psi | Boa moldabilidade |
| M 43 | Sem moldabilidade | |
| M 44 | Sem moldabilidade | |
| M 45 | Sem moldabilidade | |

b) Usando 4,5 % de celulignina – Traço T7

Os resultados obtidos com as misturas da Tabela 37 são condensados na Tabela 42, mostrada a seguir:

Tabela 42. Resultados dos ensaios das misturas com tanino e celulignina a 4,5 %

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,0 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 46 | RCv= 5,0 psi | |
| M 47* | RCv= 7,5 psi | Melhor resultado |
| M 48 | RCv= 4,6 psi | |
| M 49 | Sem moldabilidade | |
| M 50 | Sem moldabilidade | |
| M 51 | Sem moldabilidade | |
| M 52 | Sem moldabilidade | |

c) Usando 6,5 % de celulignina – Traço T 8

Os resultados podem ser vistos na Tabela 44.

Tabela 44. Resultados dos ensaios das misturas com tanino e celulignina a 6,5 %

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,0 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 53 | Molde com quebra | |
| M 54 | Muito mole | |
| M 55 | Plástica | |
| M 56 | Sem moldabilidade | |
| M 57 | Sem moldabilidade | |
| M 58 | Sem moldabilidade | |
| M 59 | Sem moldabilidade | |

Repetimos aqui a informação que o ensaio de moldabilidade em alguns casos é realizado com a própria mão, simplesmente apertando-se a mistura e verificando se a mesma assumiu o formato dos dedos. Para se ter o resultado preciso, efetua-se o ensaio de moldabilidade, existindo um aparelho que indica o percentual em atrito entre dois corpos de prova., ou realizando-se o ensaio convencional descrito neste trabalho.

d) Usando 8 % de celulignina - Traço T9

Os resultados são apresentados na Tabela 46, a seguir:

Tabela 46. Resultados dos ensaios das misturas com tanino e celulignina a 8 %

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,0 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 60 | Sem moldabilidade | |
| M 61 | Sem moldabilidade | |
| M 62 | Sem moldabilidade | |
| M 63 | Sem moldabilidade | |
| M 64 | Sem moldabilidade | |
| M 65 | Sem moldabilidade | |
| M 66 | Sem moldabilidade | |

Pelos resultados obtidos neste trabalho, verifica-se que as misturas M3 – padrão pode ser substituída pela mistura aprovada M 47, que possui em sua composição o tanino e a celulignina. Esta mistura apresentou os melhores valores de resistência (7,5 psi) ultrapassando o mínimo necessário que seria de 7,0 psi.

3.8.2.1 Comparação entre melhor resultado obtido com a mistura padrão

Conforme apresentado anteriormente, a melhor mistura envolvendo tanino e celulignina para substituir o carvão foi a mistura 47 (M47). Assim, a Tabela 48 apresenta os valores de resistência à compressão verde, seco, fendilhamento, plasticidade e permeabilidade das misturas comparadas com a mistura usual na Fundição.

Tabela 48. Valores de resistência à compressão verde, à seco, resistência ao fendilhamento, plasticidade e permeabilidade dos corpos-de-prova das diferentes misturas de areia e comparação entre os valores médios pelo teste de Scott-Knot

| Mistura | RC verde | RCseco | Rfendilha/o | Plasticidade | Permeabilidade |
|--------------|------------------|------------------|--------------------|---------------|----------------|
| M 3 | 7,0 Min (psi) | 200 Min (psi) | 2,0 a 3,0 (psi) | 20-35 (%) | 170 (AFS) |
| CP 01 | 8,5 | 212 | 2,5 | 29,4 | 190 |
| CP 02 | 7,3 | 245 | 2,2 | 33,8 | 220 |
| CP 03 | 7,6 | 237 | 2,1 | 32,8 | 230 |
| CP 04 | 7,5 | 244 | 2,4 | 32,0 | 210 |
| CP 05 | 8,2 | 235 | 2,3 | 28,0 | 240 |
| Média | 7,8 a* | 234 a | 2,3 a | 31,2 a | 218 a |
| Mistura | RC verde | RCseco | Rfendilha/o | Plasticidade | Permeabilidade |
| M 47 | 7,0 Min (psi) | 200 Min (psi) | 2,0 a 3,0 (psi) | 20-35 (%) | 170 (AFS) |
| CP 01 | 8,6 | 242 | 2,9 | 33,7 | 240 |
| CP 02 | 9,0 | 255 | 2,8 | 31,1 | 230 |
| CP 03 | 8,5 | 260 | 2,7 | 31,7 | 255 |
| CP 04 | 9,1 | 238 | 3,0 | 32,9 | 260 |
| CP 05 | 8,8 | 267 | 2,7 | 30,7 | 258 |
| Média | 8,8 a | 252 a | 2,8 a | 32,0 a | 248 a |

* Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knot.

Observou-se que a mistura composta por taninos da casca de acácia negra e celulignina apresentaram excelentes resultados de propriedades mecânicas quando comparados aos resultados obtidos pelo traço constituído pelo carvão mineral, podendo ser testadas em areias de moldagem de peças para fundição. Os valores de resistência da mistura M47 foram superiores aos valores da mistura usual (M3). Entretanto, para as propriedades avaliadas (resistência á compressão verde e seco e resistência ao fendilhamento, plasticidade e permeabilidade) não houve diferença significativa entre os valores pelo teste de Scott-Knot ao nível de 5 % de probabilidade.

Na Figura 5, pode-se visualizar o molde correspondente à mistura com areia preparada com a mistura M 47, que contém o tanino e a celulignina.

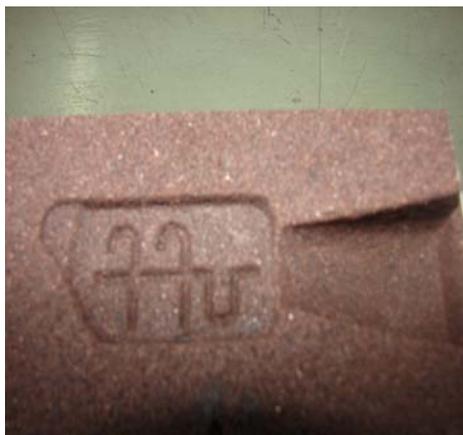


Figura 5. Molde contendo o símbolo da UFF produzido com a mistura M 47, contendo tanino e celulignina

No molde, o símbolo da UFF aparece invertido, pois os moldes são os negativos da peça. Ao se vaziar o metal líquido a palavra fica impressa corretamente.

3.8.3 Aplicação do tanino como aditivo em substituição ao melaço (Teste 3)

Nesta etapa foram realizados experimentos visando obter a proporção ideal para a substituição do melaço pela solução aprovada de tanino e água, gerando a Tabela 49 abaixo, que mostra o tanino na solução 50:50 em substituição ao melaço com as composições das misturas efetuadas com variações nos percentuais de tanino e argila.

Os resultados das misturas programadas pela Tabela 49 são mostrados na Tabela 50.

Tabela 50. Resultado dos ensaios das misturas do tanino em substituição ao melaço.

| Número da Mistura | Resultado | Meta: 7,0 psi min |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| M 67 | RCv= 10,1 psi | Excelente |
| M 68 | RCv= 7,9 psi | Muito Bom |
| M 69 | RCv= 6,0 psi | Regular |
| M 70 | Sem moldabilidade | |
| M 71 | Sem moldabilidade | |
| M 72 | Sem moldabilidade | |
| M 73 | Sem moldabilidade | |

Com base nos resultados obtidos, foram selecionadas as misturas M 67 e M 68, que apresentaram valores de resistência acima de 7,0 psi. Para efeito de melhor comparação, a Tabela 51 apresenta a composição dessas misturas e da mistura padrão M2, utilizada em areias de fundição.

O resultado dos ensaios de resistência à compressão verde, resistência à compressão seco, resistência ao fendilhamento, plasticidade e permeabilidade está apresentado na Tabela 52.

Tabela 52. Valores dos ensaios de resistência a compressão á verde, da resistência à compressão à seco, da resistência ao fendilhamento, da plasticidade e da permeabilidade para as diferentes misturas com tanino e com melaço e comparação das médias pelo teste de Skott-Knot ao nível de 95 % de probabilidade .

| Mistura N ° 2 | RC verde 6,0 Min (psi) | RCseco 200 Min (psi) | Rfendilha/o 1,5-2,5 (psi) | Plasticidade 20-35 (%) | Permeabilidade 150 min (AFS) |
|-------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| CP 01 | 6,6 | 218 | 1,9 | 28,8 | 170 |
| CP 02 | 7,2 | 212 | 1,8 | 25,0 | 180 |
| CP 03 | 7,1 | 222 | 2,0 | 28,2 | 190 |
| CP 04 | 6,9 | 215 | 1,8 | 26,1 | 170 |
| CP 05 | 6,8 | 224 | 1,9 | 27,9 | 180 |
| Média | 6,9 c* | 218 b | 1,9 b | 27,2 a | 180 b |
| Mistura N ° 67 | RC verde 6,0 Min (psi) | RCseco 200 Min (psi) | Rfendilha/o 1,5-2,5 (psi) | Plasticidade 20-35 (%) | Permeabilidade 150 min (AFS) |
| CP 01 | 10,1 | 225 | 2,3 | 22,7 | 190 |
| CP 02 | 9,8 | 224 | 2,2 | 22,4 | 180 |
| CP 03 | 10,5 | 230 | 2,1 | 20,0 | 180 |
| CP 04 | 11,7 | 236 | 2,4 | 20,5 | 190 |
| CP 05 | 11,4 | 235 | 2,3 | 20,2 | 200 |
| Média | 10,7 a | 230 a | 2,3 a | 21.1 b | 188 b |
| Mistura N ° 68 | RC verde 6,0 Min (psi) | RCseco 200 Min (psi) | Rfendilha/o 1,5-2,5 (psi) | Plasticidade 20-35 (%) | Permeabilidade 150 min (AFS) |
| CP 01 | 7,8 | 214 | 2,2 | 28,2 | 230 |
| CP 02 | 7,9 | 212 | 2,1 | 26,6 | 220 |
| CP 03 | 8,1 | 215 | 2,0 | 24,7 | 190 |
| CP 04 | 7,9 | 213 | 2,2 | 27,8 | 230 |
| CP 05 | 8,0 | 212 | 2,3 | 28,7 | 210 |
| Média | 7,9 b | 213 b | 2,1 a | 27,2 a | 216 a |

* Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Scott-Knot

Para a resistência à compressão verde, os valores obtidos em todas as misturas foram superiores aos estabelecidos na norma . Houve diferença significativa, sendo que os maiores valores foram encontrados para a mistura M 67 (com 2,0 % de tanino), seguido da mistura M 68 (2,5 % de tanino). Os resultados demonstram que a adição de tanino favoreceu positivamente para a obtenção de altos valores de resistência à compressão verde.

Como encontrado no ensaio de resistência à compressão verde, os valores de resistência à compressão seco também foram superiores aos valores estabelecidos em norma (200 psi). Aqui houve também diferença significativa, sendo que os maiores valores foram encontrados também para a mistura M 67 (adição de 2,0 % de tanino). Houve diferença significativa nos valores da mistura M 67 e M68 e entre M67 e M2. Entre as misturas M2 (com melaço) e M68 (com 2,5 % de tanino) não houve diferença significativa.

Para o ensaio de resistência ao fendilhamento, os valores encontrados para as três misturas também ficaram dentro dos limites estabelecidos em norma. Mais uma vez, os melhores resultados foram apresentados para as misturas M 67 e M 68 (com adição de tanino), que não apresentaram diferença significativa entre elas. Entretanto, os valores destas misturas foram superiores estatisticamente aos valores encontrados na mistura padrão (M 2).

Tanto com relação à plasticidade, quanto à permeabilidade, os valores encontrados para as três misturas encontram-se também dentro dos limites estabelecidos em norma. Tanto para

a plasticidade quanto para a permeabilidade, a percentagem de tanino interferiu nos resultados obtidos, pois houve diferença significativa nos valores entre as misturas M 67 (2,0 % tanino) e M 68 (2,5 % tanino). Nesse caso, os maiores valores de plasticidade e permeabilidade foram encontrados na mistura M 68 (2,5 % tanino).

Considerando-se a mistura padrão (M2), não houve diferença significativa entre essa mistura e a mistura M 68 (2,5 % de tanino). Já para a permeabilidade, a substituição de melão por tanino na composição da areia não afetou os valores quando a substituição foi de 2,0 % de tanino. Por outro lado, quando se substituiu melão por 2,5 % de tanino, os maiores valores de permeabilidade foram obtidos (216 AFS para a mistura M68), sendo diferentes significativos com a mistura M67 e a mistura padrão (M2).

4 CONCLUSÕES

- Dentre as diferentes proporções de tanino/água testadas para composição em areias de fundição, a melhor encontrada foi a proporção 50:50, onde foi possível obter corpos-de-prova de maior resistência à compressão.

- O tanino não substitui a argila na atividade de aglomeração dos grãos de areia de fundição, sendo a maior resistência obtida na mistura M 16 que atingiu 5,3 psi, mas estando muito abaixo da meta para esta propriedade que é de no mínimo 7,5 psi.

- É possível substituir o carvão mineral na composição de areia de fundição por tanino e celulignina nas proporções de 6,0 % de tanino e 4,5 % de celulignina. Isto poderá vir a ser útil ao se comparar os custos do carvão mineral com os de tanino e celulignina.

- O tanino, quando substituir o melão no nível de 2,0 % na composição de areia de fundição, conduz a melhores resistências à compressão à verde, à seco e ao fendilhamento. Por outro lado, há uma diminuição da plasticidade, mas os valores encontram-se ainda dentro do mínimo exigido pelas normas, não havendo ainda alteração nos valores de permeabilidade.

- É possível substituir também o melão na composição de areia de fundição utilizando-se 2,5 % de tanino. Nesse caso, os valores encontrados de resistência são maiores ou iguais aos valores encontrados na mistura padrão (com melão).

- O tanino, por suas propriedades adesivas quando em contato com a água, dá sua contribuição no quesito resistência à compressão da areia, favorecendo o manuseio dos moldes produzidos pelo processo de moldagem à verde, cujo catalisador é a água. A celulignina, por sua vez, contribui com a colapsibilidade da areia, que é uma propriedade necessária para a utilização da areia no processo de fundição. Porém, não foi avaliada neste trabalho a influência dessas substituições na qualidade final da peça fundida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, novos estudos deverão ser desenvolvidos, especialmente aqueles envolvendo ensaios à quente, preferencialmente em temperaturas capazes de suportar o vazamento de peças em geral, possibilitando a plena utilização destes materiais nas areias preparadas de fundição, atendendo a qualquer tipo de metal, verificando a verdadeira influência do tanino e da celulignina na qualidade final da peça fundida.

CAPÍTULO II

UTILIZAÇÃO DE TANINO E DERIVADOS LIGNO-CELULÓSICOS NA PREPARAÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS VEGETAIS

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar a utilização de tanino de acácia negra (*Acacia mearnsii*) como aglomerante para confecção de briquetes vegetais para fins energéticos e outras aplicações a serem desenvolvidas posteriormente. O resíduo vegetal utilizado foi a serragem obtida em uma serraria que processa madeira de eucalipto. Primeiramente, foram realizados tratamentos de moldabilidade de diferentes percentuais de mistura de tanino e serragem. Após esses tratamentos, foram identificadas quatro misturas que apresentaram os melhores resultados. Com essas misturas foram feitos briquetes, que foram avaliados quanto à resistência à compressão. O tanino demonstrou grande afinidade com a água na composição da mistura padrão para a briquetagem. Na briquetagem, foi utilizada a serragem (in natura), sem qualquer tipo de beneficiamento e a prensagem foi efetuada à frio. Não foi adicionado na composição dos briquetes nenhum tipo de produto químico capaz de promover ou ajudar a promover qualquer tipo de ligação entre as partículas de madeira. Os resultados mostraram que é possível utilizar tanino na confecção de briquetes vegetais.

Palavras chaves: acácia negra, resíduo, eucalipto, briquetes, briquetagem

ABSTRACT

The goal of this study is to evaluate the utilization of tannin from black wattle (*Acacia mearnsii*) as glueing for the confection of vegetable briquetes for energy purposes and other applications to be developed posteriorly. The vegetal residue used was sawdust obtained from a sawmill which processes eucalyptus wood. First, treatments of moldability of different percents of mixture of tannin and sawdust were made. After these treatments, four mixtures were identified that produced the best results. Briquettes were made of these mixtures, and then evaluated regarding resistance to compression. Tannin has demonstrated great affinity to water in the composition of the standard mixture for briquetting. *In natura* sawdust, without any beneficiation, was employed for briquetting, and cold pressing was used. No chemical product was added to the composition that could promote or help promote any kind of binding between the wood particles. The results have shown that it is possible to utilize tannin in the production of vegetable briquettes.

Key Word: Black wattle, residue, eucalyptus, briquettes, briquetting

1. INTRODUÇÃO

O processo de fabricação de peças em madeira, pelo desdobro e demais operações realizadas para se chegar à geometria desejada da peça, gera grande volume de resíduos. Nas serrarias de todo o país, o desdobro das toras descascadas para se obter as peças que irão compor o produto final gera também grande quantidade de pó de madeira, em granulometrias diferentes, algumas mais grossas até outras extremamente finas. Este material, chamado de serragem, quando é direcionado para um determinado local da serraria, onde é estocado ao ar livre, fica sujeito à intempéries e, portanto, a variações no seu teor de umidade (TEIXEIRA, 2005).

Os resíduos que se originam do processamento da madeira, móveis usados, artigos de madeira, moirões, estacas, bagaço de cana, palha de arroz, galhos de árvores são resíduos ligno-celulósicos que se apresentam em formas e granulometrias das mais variadas, apresentando de modo geral, baixa densidade e alto teor de umidade (QUIRINO, 2004).

Esta serragem é normalmente utilizada para fins energéticos em caldeiras, ou simplesmente é queimada gerando problemas de poluição ambiental. Assim, trabalhos que visam utilizar esse resíduo são de grande importância, por contribuir com a sua redução e por agregar valor a esse resíduo. Assim, a fabricação de briquetes de serragem desponta como uma alternativa, gerando um material de maior poder calorífico. A existência do processo de briquetagem é bem remota, iniciando-se por volta de 1850, através de Willian Easby, com sua aglomeração de finos de carvão. De lá pra cá, muito se evoluiu na fabricação de briquetes, existindo hoje inúmeras formas de obtê-los. O processo mais bem sucedido inclui a prensagem do material aquecido, usando-se algum tipo de aglomerante, com controle da umidade (QUIRINO, 2004).

Taninos são compostos polifenólicos de alto peso molecular, utilizados, por exemplo, para curtimento de couro, na fabricação de azulejos e pisos, para facilitar perfurações de poços petrolíferos e mais recentemente para a produção de adesivos (POSER & GOSMAN, 1990, ROFFAEL & DIX, 1994). Os taninos compreendem um grupo de substâncias que ocorrem em diversas plantas superiores, em diferentes quantidades e que têm o poder de transformar pele animal em couro (GNAMM, 1933).

Segundo sua estrutura química, os taninos são classificados em dois grandes grupos: taninos hidrolisáveis e taninos condensados. Os taninos hidrolisáveis apresentam na sua constituição monômeros de ácido gálico (tanino gálico) ou ácido elágico (tanino elágico), enquanto os taninos condensados são formados pela polimerização de unidades de catequina (PAIVA et al., 2002).

Os taninos condensados são formados por unidades de flavonóide (flavan 3-4 diol e flavan 3-ol) em vários graus de condensação (dependem do tipo e da origem do tanino), não sofrem hidrólise e se precipitam com formaldeído e ácido clorídrico, segundo a reação de Stiasny. Dentre os dois tipos de taninos, os mais importantes são os condensados, que geralmente se apresentam como polímeros, tendo um grau de condensação médio variando de 4 a 12 unidades flavonóides (PIZZI, 1994).

Os extrativos da casca de acácia negra e da madeira do quebracho são os mais importantes taninos condensados produzidos industrialmente. Os taninos condensados constituem mais de 90 % da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350000 t / ano (GUANGCHENGET al., 1991). No Brasil, o tanino é obtido especialmente da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*) e é utilizado principalmente no curtimento de pele animal. O teor de tanino na casca de Acácia pode chegar até a 35 % (ROFFAEL & DIX, 1989). A maior unidade de produção de extratos vegetais tanantes do mundo está localizada no Brasil, sendo que cerca de 30% do tanino (total de 30.000 t / ano) ficam no mercado interno e os outros 70% são exportados para mais de 70 países (SBS, 2006).

Até o momento, não encontramos na literatura nenhum trabalho que empregue tanino como elemento aglomerante em briquetes de serragem de madeira ou em outros possíveis tipos de briquetes.

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a possibilidade de utilização de resíduos ligno-celulósicos (serragem) em combinação com taninos de acácia negra (*Acacia mearnsii*), para fabricação de briquetes vegetais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Na realização deste trabalho foram utilizados os materiais serragem de eucalipto e o tanino. A serragem foi obtida na Serraria LPZ – Embalagens de Madeiras, situada em Piraí – RJ, que é um material oriundo do desdobro das toras de eucalipto, operação que gera a serragem como sub-produto durante sua produção de embalagens de madeira. Esta madeira é trabalhada para a confecção de pallets para transporte industrial. A serragem foi usada *in natura*, não sendo efetuado nenhum tipo de tratamento ou aquecimento.

O tanino, denominado Phenotan M, é oriundo da Empresa TANAC S/A de Montenegro – RS. Trata-se de um extrato vegetal conhecido também como Mimoso, oriundo das cascas de acácia negra (*Acacia mearnsii*) plantadas no Estado do Rio Grande do Sul. O material encontrava-se na forma de pó, de coloração marrom, com pH em torno de 4,0 a 5,0, não se conhecendo nenhum efeito toxicológico sobre o homem.

2.2 Análise do teor de umidade da serragem

Foi realizado o ensaio de umidade na serragem utilizando-se equipamentos do laboratório de Areias de Fundação da UFF – EEIMVR. Estes equipamentos foram a estufa George Fisher e a balança eletrônica GEHAKA – BK 3000.

2.3 Teste de moldabilidade

Entende-se por moldabilidade como sendo a capacidade da mistura preparada assumir a forma desejada e imposta pelo molde utilizado no processo de prensagem. Esta fase objetivou a descoberta da melhor solução de tanino e água que deveria compor a mistura padrão para a confecção dos briquetes.

2.3.1 Tratamentos para briquetes visando moldabilidade

Para o desenvolvimento do estudo utilizou-se o tanino como aglomerante em solução com a água, em proporções distintas, sendo chamando de T os traços envolvendo as soluções de tanino com a água.

2.4 Confecção de briquetes com soluções de tanino e água

Foram determinados os tratamentos para confecção dos briquetes de serragem de eucalipto e tanino de acácia negra para o prosseguimento dos estudos, continuando a denominar como M as novas misturas envolvendo a sua confecção. Para cada tratamento foram realizadas 5 repetições, gerando um total de 20 corpos-de-prova.

2.5 Avaliação das propriedades dos briquetes

2.5.1 Pesquisa da força ideal de prensagem

Realizou-se então a pesquisa da força mínima de prensagem para as 4 misturas, sendo utilizados balança de precisão eletrônica, misturador GF (George Fisher), molde metálico e prensa da marca Boverau, com capacidade de 15 t.

Para cada mistura, pesou-se 20 gramas de material que foi colocado no interior do molde para prensagem, utilizando forças que variaram de 3 ton até 9 ton, medindo-se as alturas dos briquetes produzidos até a obtenção de valores constantes, gerando então a força mínima de prensagem para cada mistura pesquisada.

Utilizou-se uma matriz com 30 mm de diâmetro interno, fabricado em aço ao carbono forjado e usinado na medida. Para as várias forças aplicadas, foram registrados a pressão (MPa), densidade (g/cm^3) e altura obtida do briquete.

2.5.2 Resistência à compressão das misturas

Para cada mistura foram preparados 5 CP's (repetições) com dimensões idênticas com 4,5 cm de altura por 3,0 cm de diâmetro, com pressão encontrada na força ideal de prensagem que atendia a todas as massas (7 ton). Os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de compressão na máquina modelo PCE com capacidade até 20 toneladas. Este ensaio foi realizado na UNIFOA, Universidade da Fundação Oswaldo Aranha, em Pinheiral – RJ.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Umidade da serragem

O valor médio do teor de umidade da serragem de eucalipto foi de 10,7 %.

3.2 Análise da moldabilidade

Para melhor visualização, é apresentado na Tabela 56 o planejamento dos ensaios que foram executados para o estudo da formação de briquetes de serragem, utilizando o tanino de acácia negra como aglomerante.

Os resultados das diferentes misturas de serragem e soluções de tanino nas diferentes misturas estão apresentados nas Tabelas 57, 58 e 59.

a) Para as soluções T 1 – tanino e água

Tabela 57. Resultados dos briquetes com as misturas de solução de tanino - T1

| Identificação da Mistura | Resultados |
|--------------------------|---------------------|
| M 1 | Baixa moldabilidade |
| M 2 | Baixa moldabilidade |
| M 3 | Baixa moldabilidade |

b) Para as soluções T 2 – tanino e água

Tabela 58. Resultados dos briquetes com as misturas de solução de tanino - T2

| Identificação da Mistura | Resultados |
|--------------------------|---------------------|
| M 4 | Baixa moldabilidade |
| M 5 | Baixa moldabilidade |
| M 6 | Baixa moldabilidade |

c) Para as soluções T 3 – tanino e água

Tabela 59. Resultados dos briquetes com as misturas de solução de tanino - T 3

| Identificação da Mistura | Resultados |
|--------------------------|----------------|
| M 7 | EXCELENTE |
| M 8 | BOM |
| M 9 | RUIM - pastoso |

Abaixo, é apresentada a Figura 6, mostrando a aparência de um briquete após o processo de prensagem na empresa Metalúrgica Vulcano Ltda. Esse é um exemplo de um briquete considerado excelente.



Figura 6. Briquete de serragem considerado excelente

3.3 Resultados de briquetes de serragem com a solução tanino e água 50:50

Em função dos resultados obtidos pelo teste de moldabilidade, descrito no item anterior, passou-se a efetuar os ensaios utilizando a solução de maior eficiência para a produção dos briquetes, que foi a solução de tanino e água em proporções 50:50, sendo preparados 4 novos tratamentos com 5 repetições cada para a conclusão dos estudos.

Abaixo, seguem os resultados da briquetagem dos materiais (Tabela 60).

Tabela 60. Resultados da prensagem de briquetes de serragem e solução tanino

| Nova mistura | Resultado obtido na prensagem |
|--------------|-------------------------------|
| M 10 | Razoável |
| M 11 = M 7 | EXCELENTE |
| M 12 | BOM |
| M 13 = M 8 | BOM |

Passou-se então para a pesquisa da força mínima de prensagem para as 4 misturas. Os resultados deste ensaio para as quatro misturas estão relatados a seguir.

3.5 Ensaio de resistência à compressão das misturas

Os ensaios de resistência à compressão dos briquetes fabricados, para os diferentes percentuais de serragem e tanino, são apresentados na Tabela 65.

Tabela 65. Ensaio de resistência à compressão dos diferentes briquetes.

| Mistura | Resistência à compressão em Mpa | | | | | |
|---|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Serragem: CP 01 CP 02 CP 03 CP 04 CP 05 Média | | | | | | |
| tanino+ água | | | | | | |
| Teste 1 | 52,54 | 51,57 | 55,45 | 54,48 | 53,65 | 53,53 c* |
| Teste 2 | 74,58 | 75,14 | 73,89 | 72,78 | 75,55 | 74,38 a |
| Teste 3 | 69,04 | 67,37 | 66,41 | 63,73 | 68,49 | 67,00 b |
| Teste 4 | 69,51 | 68,41 | 69,85 | 69,82 | 69,65 | 69,45 b |

* médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Scott-Knot

4. CONCLUSÕES

- É possível fabricar briquetes de serragem (*in natura*), sem beneficiamentos de peneiramento ou secagem, utilizando o tanino da casca de acácia negra como material de adição com função aglomerante, em mistura que contenha apenas a água como catalisador. Ressalta-se aqui que não é necessário a prensagem a quente, o que poderia onerar o custo final do produto;

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, R. C. **Briquetagem de Carvão vegetal**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC, 1982.

ARAÚJO, L.A. **Manual de Siderurgia**, Brasil, 1967.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **O Mercado de Fundição**, Edição 99, p.10-21, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Terminologia de Material Refratário**. 1999

BARBOSA, J.C.M. **Experimentos preliminares com briquetes à base de taninos**. Não publicado, 2008

BIOMACHINE. Disponível em <http://www.biomachine.com.br>. Acesso em: Outubro / 2008

BRADASHIA, C. **Fundição de Ligas Não Ferrosas**, ABM, 2005

BRANDÃO, J.D. **Fundição**. ETPC – Escola Técnica Pandiá Calógeras, Volta Redonda, RJ, 2005

CEMP. Comissão de Estudos de Matérias Primas, 1983 a 1997

CETEC. Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982

CETEM. Centro de Tecnologia Mineral, 1981

CETEM, Centro de Tecnologia Mineral, 2007.

CHEN, M. Effects of extraction on reaction of bark extracts with formaldehyde. **Holzforschung**, v.45 (2), p. 155-159, 1991.

CONDE, E.; CADAHÍA, E.; DÍEZ-BARRA, R.; GARCÍA-VALLEJO, M. C. Polyphenolic composition of bark extracts from *Eucalyptus Camaldulensis*, *E. globules* and *E.rudis*. **Holz als Roh – und Werkstoff**. 54, p.175-181. 1996.

COSTA, F. H. **Curso de Fundição**, UFF- EEIMVR, 1990.

COSTA , L.S.N. **Briquetagem e sua Importância para a indústria**, CETEM, 1981.

DE LEON, A.B.T. **Estudo de briquetagem de Finos de Carvão Mineral**, 2005, 92 p.

FUPEF. **Fundação de Pesquisas Florestais do Estado do Paraná**, Curitiba, 1998.

GNAMM, H. **Die Gerbstoffe und Gerbmittel**. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. 2. Aufl. Stuttgart, 1933.

GONÇALVES, C. A. **Utilização do tanino da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (Sabiá) como matéria prima alternativa para a produção de adesivos**. 2000, 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), UFRRJ, Seropédica, RJ.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, V. 8, n. 1, p. 167-173, 2001.

GONÇALVES, M.T.T.; RUFFINO, R.T. Aproveitamento de resíduo gerado na indústria madeireira. In: III ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E ESTRUTURAS EM MADEIRA, **Anais...**, BH – MG

GUANGCHENG, Z.; YUNLU, L; YAZAKI, Y. Extractive yields, Stiasny values and polyflavonoid contents in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry**, V. 54, p.154-156, 1991.

HASLAM, E. **Chemistry of vegetable tannins**. London: Academic, 1966.177 p.

HILLIS, W. E. **Natural polyphenols (tannins) as a basis for adhesives**. Second Weyerhaeuser Science Symp.: Phenolic Resins. Chemistry and Application, 171-187, 1989.

HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Academic Press, 1984, 434p.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – SP. **Materiais de Moldagem**, 1972.

JORGE, F.C., PASCOAL NETO, C.; IRLE, M.A.; GIL, M.H.; PEDROSA DE JESUS, J. Wood adhesives derived from alkaline extracts of maritime Pine bark: preparation, physical characteristics and bonding efficacy. **Holz als Roh- und Werkstoff**. V.60, p. 303-310, 2002.

LELIS, R. C. C.; TOSTES, A. S. Aproveitamento do tanino de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild) em resina sintética à base de Fenol-Formaldeído. In: VI CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS. FOREST 2000. **Anais...**, Porto Seguro – BA, p. 389-390, 2000.

LELIS, R. C. C. (1995). **Zur Bedeutung der Kerninhaltsstoffe obligatorisch verkernter Nadelbaumarten bei der Herstellung von feuchtebeständigen und biologisch resistenten Holzspanplatten, am Beispiel der Douglasie [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco]**. Dissertation an der Universität Göttingen, 2005.

LÊ BRETON. **Defectos de las Piezas de Fundicion** – Edicion URMO. USA 235 pg

LOPES, C. R. **Trabalhos sobre a celulignina** – USP-LORENA – SP – 2005

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J.A; ALMEIDA, S. **Tratamento de Minérios**, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – 2007.

MASUDA, H. **O Carvão Mineral na Siderurgia**, ABM, 2004, 1977 , 185 fls

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Proposta de utilização energética de florestas e resíduos agrícolas. **Brasnia**, 1984, 132p.

MODERN CASTING. **First and Fourth Census of Casting Production**, 1966 e 1969.

MORI, F.A.; VITAL, B. R.; FERRAZ, P. V.; PIMENTA, A. S. Estudos de taninos da casca de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake para a produção de adesivos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 25, n.2, p.257-263, 2001.

MORI, F.A.; MORI, C. L. S. O.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; MELO, V. M. Influência do sulfito e hidróxido de sódio na quantificação em taninos da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*). **Floresta e Ambiente**, Seropédica - RJ, V. 10, n.1, p.86-92, 2003.

MURAD, F. **Fundição**.UFF,1966.

NUCCI, O. **Ensaio de aglomeração e carbonização de celulignina**. IPT, Novembro,1993.

PAIVA, S.R.; HERINGER, A.P.; FIGUEIREDO, M.R.; KAPLAN, M.A.C. Taninos condensados de espécies de plumbaginaceae. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 153-157, 2002.

PASTORE JUNIOR, F. **Produção de adesivos à base de tanino**. Comunicação técnica número 19, PRODEPEF, Brasília, 1977.

PENA, J.C. **Aglomeración de Minérios de Ferro** – ABM – Associação Brasileira de Materiais e Metalurgia – 2006.

PIZZI, A. **Wood Adhesives.**: Chemistry and Technology. Marcel Dekker, New York, 1983, 364 p.

PIZZI, A. **Natural Phenolic Adhesive I: Tannin.** In: Handbook of adhesive technology. Marcel Dekker, New York, 347-358, 1994.

PIZZI, A; KNAUFF, C.J.; SORFA, P. Effect of acrylic emulsions on tannin-based adhesive for exterior plywood. **Holz als Roh und Werkstoff.** V.39, p.223-226, 1981.

PIZZI, A.; STEPHANOU, A.; HSE, C. Y. **Mechanisms of tannin rearrangements in thermosetting tannin adhesives for particleboard.** Adhesive technology and bonded tropical wood products. Serie 96. 2-14. 1998.

POSER, G.L.VON; GOSMANN G. Acácia-Negra. **Ciência Hoje**, vol.11, n.63, p.68-70, 1990.

PRASETYA, B.; ROFFAEL, E. Neuartige Charakterisierung von natürlichen Polyphenolen hinsichtlich ihrer Vernetzbarkeit. **Holz als Roh- und Werkstoffe.** 49: 481-484, 1991

QUEIROZ , C.R.A.A.; MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.26, n.4, p.485-492, 2002.

QUIRINO, W.F. **Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos.** IBAMA, 1989

QUIRINO, W.F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal.** LPF Série Técnica nº 13, 1991

QUIRINO, W.F. **Utilização Energética de resíduos vegetais** – LPF /IBAMA, 2003.

REVISTA DA MADEIRA. **Bioenergia-Energia Limpa**, pg. 43-56, 2005.

ROFFAEL, E.; DIX B. Zur Verwertung von Rindenextraktstoffen unter besonderer Berücksichtigung der Rindenpolyphenole. **Holz-Zentralblatt** 115: 2084-2085, 1989.

ROFFAEL, E.; DIX, B. Tannine als Bindemittel für Holzwerkstoffe, **Holz-Zentralblatt**, V. 120, n.6, p.90-93, 1994.

SANTOS, F.; CURVELO, A.A.S. Kraft lignin in the synthesis of modified novolac resins. In: BRASILIAN SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF LIGNIN AND OTHER WOOD COMPONENTS, 6, 1999. Guaratinguetá, **Anais...**, Guaratinguetá, 1999, p.17

SENAI. **Defeitos de peças fundidas.** Itaúna – MG, 2003 , 100 fls

SIEGEL, M. A **Fundição do Brasil nos últimos vinte anos**. Boletim nº 84, ABM, 1964

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.; LIMA, R.M.B. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, n.65, p.95-101, 2004.

SOBRAL FILHO, M. **Adesão e Adesivos para Madeira**. IBDF, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Ministério da Agricultura, 2006.

TEIXEIRA, M.G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 2005

TEIXEIRA , M.G.; CÉSAR, S.F. Resíduo de madeira como possibilidade sustentável para produção de novos produtos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - Conferência Latino-Americana, **Anais...**, São Paulo, 2004.

TRUGILHO, F. P.; CAIXETA, P. R.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. **Revista Cerne**, Lavras, v.3, n.1, p.1-13, 1997.

TRUGILHO, P. F.; MORI, F.A.; LIMA, J.T.; CARDOSO, D.P. Determinação do teor de taninos na casca de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, V. 9, n. 2, p. 246-254, 2003.

WISSING, A. The utilization of bark II: Investigation of the stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in Pine bark extractives. **Svensk Papperstidning**, V.58, n. 20, p. 745-750, 1955.

,