



IPEF: FILOSOFIA DE TRABALHO DE UMA ELITE DE EMPRESAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 146

Junho/1982

PBP/3.1.6

CARVÃO VEGETAL DE MADEIRA DE DESBASTE DE *Pinus**

José Otávio Brito**
Luiz E. G. Barrichelo**

1. INTRODUÇÃO

A produção de carvão vegetal, a partir da madeira destinada à siderurgia, representa hoje uma das mais importantes atividades sobre as quais se apóia nosso desenvolvimento industrial.

A madeira de eucalipto, proveniente de maciços florestais homogêneos que as próprias empresas siderúrgicas vem implantando na busca da auto-suficiência, tem sido o material substituto tradicional das florestas nativas para a produção desse carvão vegetal.

Ao contrário do eucalipto, a madeira fina proveniente de desbaste de espécies de *Pinus* não possui, em sua totalidade, uma destinação clara e perfeitamente definida. O desbaste consiste numa técnica de controle da densidade praticada em povoamentos de *Pinus* com cortes intermediários de algumas árvores dominadas, favorecendo o desenvolvimento das mais promissoras que permanecem na população, a fim de produzirem material de qualidade superior. Além dessa finalidade básica e indispensável, o desbaste visa também a obtenção de material madeireiro comercializável, em fases intermediárias ao corte final da florestal. No entanto, este segundo ponto não tem sido alcançado normalmente em nossas condições pela inexistência de um mercado satisfatório para a comercialização, em função da qualidade inferior do material obtido para uso nas indústrias madeireiras tradicionais. Este fato torna-se mais acentuado em se tratando do 1º e

* Trabalho desenvolvido para o Convênio ESALQ/FINEP B/42/80/093/00/00 – Estudo Tecnológico da Madeira de *Pinus* spp para a Produção de Carvão Vegetal destinado à Siderurgia.

** Professores do Departamento de Silvicultura – ESALQ – USP.

2º desbastes efetuados aos 8 e 11 anos de idade do povoamento. Lança-se mão, portanto, de uma operação onerosa sem retorno comercial, sendo isto feito exclusivamente com o objetivo de permitir que as árvores remanescentes continuem crescendo satisfatoriamente.

Na atualidade observa-se um aumento progressivo dos plantios de *Pinus* no Brasil, principalmente nos Estados de Minas Gerais e Bahia, o que resultará num cômputo maior na disponibilidade de material de desbaste.

Os pontos ressaltados anteriormente, bem como a busca de novas opções em termos de matéria prima, têm despertado interesse para a utilização da madeira de *Pinus* para produção de carvão vegetal. Evidentemente, a produção de carvão vegetal com madeira de *Pinus* não teria como objetivo a substituição pura e simples das fontes tradicionais e específicas de carvão como por exemplo o eucalipto. O carvão de *Pinus* contribuiria apenas para suprir parte da demanda do produto, com a vantagem de que, para que sua produção, seria utilizado matéria prima para a qual normalmente existe excesso de oferta (material de desbaste). A par disso, o carvão de *Pinus*, além das empresas siderúrgicas, poderia vir atender também a demanda de carvão vegetal de metalúrgicas, forjarias e mesmo consumidores domésticos.

No entanto, a tecnologia atual brasileira carece de informações cientificamente obtidas da perfeita adequação da madeira de *Pinus* para a produção de carvão vegetal. Essa avaliação é proposta no presente trabalho como passo inicial um possível uso da madeira de *Pinus* spp como matéria prima para produção de carvão vegetal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado nas carbonizações foi proveniente de um primeiro desbaste de povoamentos de *Pinus*. Constou de toretes de 1 m de comprimento e DAP variando entre 11,5 e 13,5 cm de madeira, com casca, das espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. oocarpa*, com 8 a 9 anos de idade, implantados em áreas da Reflorestadora Sacramento Ltda., em Minas Gerais.

2.1. Preparo da madeira para carbonização

Procedendo cada carbonização, a madeira passou pelas seguintes etapas:

- a) Determinação de umidade: ao acaso, foram coletados discos tomados no centro de alguns toretes (10 toretes por carga), os quais foram acondicionados em sacos plásticos e encaminhados para laboratório. No laboratório, foi determinado o teor de umidade por secagem, em estufa.
- b) Determinação do peso volume: a quantidade de madeira para carbonização foi devidamente determinada em termos de volume (metros estéreos e cúbicos) e em termos de peso (peso úmido e peso seco).

2.2. Carbonização

As carbonizações da madeira (em número de seis por espécie) foram realizadas em forno de alvenaria, de superfície, com 2,0 m de diâmetro, volume nominal de 4,0 m³ e uma chaminé com captação central de gases.

O esquema resumido da carbonização é apresentado a seguir.

- a) Depois que o forno foi carregado com a madeira, procedeu-se ao acendimento pela parte superior da cúpula.
- b) Logo após o início da combustão, os orifícios da cúpula foram fechados.
- c) Decorrido um certo tempo após o que a chaminé passou a funcionar, os orifícios da parede do forno foram fechados, passando o mesmo a trabalhar somente com os orifícios próximos ao chão (“tatus”), com entrada controlada de ar e as chaminés com função de expelir os gases resultantes do processo de carbonização (fumaça).
- d) A carbonização foi conduzida pela cor da fumaça que saía da chaminé. Enquanto a fumaça apresentava cor branca ou esbranquiçada, prosseguiu-se com o processo de carbonização.
- e) Quando a fumaça da chaminé apresentou-se azulada, o processo de carbonização foi tido como encerrado e todos os “tatus” e a chaminé foram fechados.
- f) Após o encerramento da carbonização, procedeu-se ao barrelamento do forno e aguardou-se o seu resfriamento.
- g) O descarregamento do forno foi executado quando o mesmo encontrava-se frio, retirando-se o carvão que foi separado dos tiços, moinha e outras impurezas.

2.3. Determinações realizadas

2.3.1. Rendimento da carbonização

Foram calculados os rendimentos volumétricos e gravimétricos do carvão produzido, em termos de:

- rendimento volumétrico (st/mdc) = estéreos de madeira carbonizada/metros de carvão produzido.
- rendimento gravimétrico (%) = (peso de carvão seco produzido/peso de madeira seca carbonizada) x 100.

2.3.2. Características físicas do carvão

Foram determinadas as seguintes características físicas do carvão:

- densidade a granel (“bulk density”): determinação do peso do carvão em kg contido num volume equivalente a 1m^3 (1 mdc)
- resistência ao tamboramento: determinação da friabilidade do carvão após ser submetido a rotação em um tambor de 30 cm de diâmetro e 25 cm de comprimento, a 30 rpm
- granulometria: determinação sobre o carvão retirado diretamente do forno, dos percentuais retidos em peneira de 31,7 mm (fração grossa) e não retidos em peneiras de 12,7 mm (fração fina).

2.3.3. Características químicas do carvão

Foram determinadas as seguintes características químicas, mediante aquecimento do carvão a 900°C , durante 10 minutos:

- índice de carbono fixo (%)

- índice de materiais voláteis (%)

3. RESULTADOS

3.1. Teor de umidade, volume e peso da madeira e do carvão produzido

As tabelas 1 e 2 fornecem os resultados dessas determinações para as três espécies.

Tabela 1. Teor de umidade, volume e peso da madeira.

Espécie	Nº da carbonização	% U base úmida	Volume		Peso (kg)	
			Estéreos	m ³	Úmido	Seco
<i>P. caribaea var. hondurensis</i>	1	39,8	3,0	2,0	1550	933
	2	42,3	3,0	2,0	1490	860
	3	46,0	3,2	2,1	1498	808
	4	41,3	2,8	1,9	1120	657
	5	40,9	3,1	2,1	1400	827
	6	41,3	2,9	2,0	1431	840
Média		41,9	3,0	2,0	1415	821
C.V. (%)		5,13	4,71	4,00	10,87	11,10
<i>P. caribaea var. bahamensis</i>	1	30,0	3,0	2,0	1431	1002
	2	34,9	2,9	2,0	1434	933
	3	35,5	3,1	2,1	1508	973
	4	36,0	2,8	1,9	1486	951
	5	40,0	3,0	2,0	1399	839
	6	34,3	3,0	2,1	1501	986
Média		35,1	3,0	2,0	1460	947
C.V. (%)		9,17	3,33	4,00	3,05	6,18
<i>P. oocarpa</i>	1	34,0	3,1	2,1	1271	839
	2	33,2	2,9	2,0	1304	871
	3	35,0	3,1	2,1	1323	860
	4	38,0	3,0	2,0	1254	774
	5	33,9	2,9	2,0	1426	943
	6	33,7	3,0	2,1	1536	1018
Média		34,6	3,0	2,0	1352	884
C.V. (%)		5,06	3,00	3,00	8,01	9,64

C.V. = Coeficiente de Variação

Tabela 2. Peso e umidade do carvão.

Espécie	Nº da carbonização	% U base úmida	Volume (m.d.c.)*	Peso (kg)	
				Úmido	Seco
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1	5,0	1,1	110	104
	2	5,9	1,1	110	103
	3	4,5	1,3	115	109
	4	6,5	1,2	107	100
	5	7,0	1,3	110	102
	6	6,5	1,1	118	112
Média		5,9	1,2	112	105
C.V. (%)		16,44	8,33	3,60	4,34
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1	6,0	1,0	110	103
	2	6,5	0,9	108	101
	3	6,0	1,3	100	94
	4	7,0	0,9	120	112
	5	4,5	1,0	107	102
	6	6,0	1,3	112	105
Média		6,0	1,1	110	103
C.V. (%)		14,0	16,90	5,96	5,67
<i>P. oocarpa</i>	1	5,0	1,1	119	113
	2	6,0	1,2	115	108
	3	4,0	0,9	100	96
	4	6,5	1,3	97	91
	5	7,0	1,2	99	93
	6	4,0	0,8	106	102
Média		5,4	1,1	106	100
C.V. (%)		23,70	17,53	8,6	8,74

* metro de carvão

C.V. = Coeficiente de Variação

3.2. Tempo de carbonização

A tabela 3 fornece os tempos gastos nas carbonizações.

Tabela 3. Tempo de carbonização.

Espécie	Nº da carbonização	Tempo (horas)			
		Acendimento	Carbonização	Resfriamento	Ciclo total
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1	0,30	24,0	72,0	96,30
	2	0,22	28,6	80,0	108,82
	3	0,15	27,0	72,0	99,15
	4	0,20	25,0	78,0	103,20
	5	0,25	23,0	68,0	91,25
	6	0,25	26,0	70,0	96,25
Média		0,23	25,6	73,3	99,16
C.V. (%)		21,74	7,97	6,38	6,20
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1	0,20	26,0	72,0	98,20
	2	0,15	28,0	72,0	100,15
	3	0,25	24,0	72,0	96,25
	4	0,25	26,0	80,0	106,25
	5	0,20	25,0	68,0	93,20
	6	0,20	25,0	70,0	95,20
Média		0,21	25,7	72,3	98,21
C.V. (%)		19,05	5,33	5,64	4,70
<i>P. oocarpa</i>	1	0,20	25,0	70,0	95,20
	2	0,15	28,0	68,0	96,15
	3	0,25	23,0	72,0	95,25
	4	0,20	26,0	72,0	98,20
	5	0,15	22,0	78,0	100,15
	6	0,20	24,0	70,0	94,20
Média		0,19	24,7	71,7	96,52
C.V. (%)		21,05	8,74	4,80	2,31

C.V. = Coeficiente de Variação

3.3. Rendimento

As tabelas 4 e 5 fornecem os valores de rendimentos das carbonizações e análises estatísticas.

Tabela 4. Rendimentos das carbonizações.

Espécie	Nº da Carbonização	Rendimento	
		St/m.d.c. ¹	Porcentagem ²
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1	2,7	11,2
	2	2,7	12,0
	3	2,5	13,5
	4	2,3	15,2
	5	2,4	12,3
	6	2,7	13,3
Média		2,6	12,9
C.V. (%)		6,92	10,85
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1	3,0	10,3
	2	3,2	10,8
	3	2,4	10,0
	4	3,1	11,8
	5	3,0	10,6
	6	2,3	11,4
Média		2,9	10,8
C.V. (%)		13,67	6,30
<i>P. oocarpa</i>	1	2,8	13,5
	2	2,4	12,4
	3	2,4	11,2
	4	2,3	11,8
	5	2,4	10,0
	6	3,8	10,1
Média		2,7	11,5
C.V. (%)		21,22	11,83
Teste F		0,71 ^{n.s.}	4,84*

1 estéreos de madeira consumida por metro de carvão

2 percentual gravimétrico = (peso de carvão seco/peso de madeira seca) x 100

C.V. = Coeficiente de Variação

* significativo ao nível de 5%

n.s. não-significativo

Tabela 5. Teste de Tukey para rendimento (%).

	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	<i>P. oocarpa</i>
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	-	2,1*	1,4 ^{n.s.}
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	-	-	0,7 ^{n.s.}
<i>P. oocarpa</i>	-	-	-

* significativo ao nível de 5%

n.s. não-significativo

3.4. Características físicas e químicas do carvão

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados médios dos testes físicos químicos executados no carvão e análises estatísticas.

Tabela 6. Resultados dos testes físicos.

Espécie	Nº da carbonização	Densidade a granel (kg/mdc)	Densidade aparente (kg/m ³)	Teste de tamboramento	Granulometria	
					Grossa	Fina
<i>P. caribaea var. hondurensis</i>	1	140	160	11,0	79,4	4,8
	2	139	189	12,9	80,3	3,8
	3	140	200	13,0	76,6	4,4
	4	125	160	11,1	76,4	7,8
	5	130	180	10,9	70,3	6,9
	6	138	180	12,1	80,2	8,5
Média		135	178	11,8	77,5	6,0
C.V. (%)		4,68	8,92	8,22	4,92	32,60
<i>P. caribaea var. bahamensis</i>	1	127	180	10,0	77,8	5,0
	2	125	200	11,9	75,8	4,3
	3	120	160	12,0	80,3	3,9
	4	130	178	12,1	76,7	5,0
	5	128	180	13,0	77,7	4,6
	6	130	190	12,5	79,1	4,8
Média		127	181	11,9	77,9	4,6
C.V. (%)		2,98	7,39	8,57	2,08	9,42
<i>P. oocarpa</i>	1	135	200	12,9	78,3	6,0
	2	140	210	13,0	77,7	4,3
	3	139	230	11,2	78,2	5,9
	4	145	230	11,5	80,0	6,0
	5	143	200	10,1	69,0	4,9
	6	140	220	13,0	78,8	4,7
Média		140	215	12,0	77,0	5,3
C.V. (%)		2,46	6,41	10,08	5,19	14,27
Teste F		13,91 ^{**}	12,89 ^{**}	0,02 ^{n.s.}	0,13 ^{n.s.}	2,15 ^{n.s.}

** significativo ao nível de 1%

n.s. não significativo

C.V. Coeficiente de Variação

Tabela 7. Teste de Tukey para densidade a granel (kg/mdc)

	<i>P. caribaea var. hondurensis</i>	<i>P. caribaea var. bahamensis</i>	<i>P. oocarpa</i>
<i>P. caribaea var. hondurensis</i>	-	8 [*]	5 ^{n.s.}
<i>P. caribaea var. bahamensis</i>	-	-	13 ^{**}
<i>P. oocarpa</i>	-	-	-

* significativo ao nível de 5%

** significativo ao nível de 1%

n.s. não significativo

Tabela 8. Teste de Tukey para densidade aparente (kg/m³)

	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	<i>P. oocarpa</i>
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	-	3 ^{n.s.}	3 ^{n.s.}
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	-	-	34 ^{**}
<i>P. oocarpa</i>	-	-	-

** significativo ao nível de 1%

n.s. não significativo

Não houve diferença estatística para rendimento de carvão entre as espécies, em termos volumétricos (st/mdc). Esta diferença foi observada, no entanto, em termos de rendimento gravimétrico (%), talvez pela maior precisão da determinação. No caso, o *P. caribaea* var. *hondurensis* mostrou um rendimento ligeiramente superior ao *P. caribaea* var. *bahamensis*, estatisticamente significativo. O *P. oocarpa* mostrou rendimento gravimétrico que não diferiu estatisticamente das outras espécies.

De um modo geral, as três espécies mostraram rendimentos, tanto volumétricos como gravimétricos, inferiores àqueles normalmente citados para as espécies tradicionais de eucalipto. JUVILLAR (1981), por exemplo, cita um rendimento volumétrico ou relação st/mdc equivalente a 1,7 e rendimento gravimétrico equivalente a 35% para o eucalipto carbonizado em forno de alvenaria, o que, comparativamente aos valores aqui obtidos para *Pinus*, são bastante superiores.

Com relação às características físicas, foram encontradas diferenças significativas para densidade do carvão. Para densidade a granel, os maiores valores foram encontrados, em ordem decrescente, para o *P. oocarpa*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis*. Para a densidade aparente, também o *P. oocarpa* apresentou valor superior à duas outras espécies.

De um modo geral, no entanto, as densidades das três espécies estudadas mostraram-se inferiores àquelas normalmente encontradas para carvão de eucalipto. BRITO & BARRICHELO (1980) relatam valores de densidade aparente para carvão vegetal de espécies de eucalipto acima de 230 kg/m³. JUVILLAR (1981) cita valores de densidade a granel, para carvão de eucalipto, igual a 230 kg/mdc. Estes valores estão, portanto, bem acima daqueles encontrados para carvão de *Pinus* aqui estudado.

Com relação ao teste de tamboramento, que mede a aptidão do carvão de suportar os choques que inevitavelmente ocorrerão durante sua manipulação e transporte, observou-se que as três espécies tiveram comportamentos semelhantes. Os valores obtidos permitem classificar o carvão das três espécies de *Pinus* estudadas como sendo pouco friável, segundo a classificação proposta pelo CTFT (1972).

No que diz respeito à granulometria, as três espécies de *Pinus* tiveram um mesmo comportamento, não havendo diferenças entre as médias dos seus valores. Segundo ABM (1975), um bom carvão deve possuir acima de 40% de fração grossa (30 mm) e abaixo de 15% de fração fina (12 mm). Dentro dessa classificação, os resultados de granulometria obtidos no presente trabalho permitem concluir que o carvão de *Pinus* mostrou granulometria muito boa.

Tabela 9. Resultados dos testes químicos.

Espécie	Nº da carbonização	Índice de carbono fixo (%)	Índice de voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	1	77,6	22,1	0,3
	2	78,0	21,6	0,4
	3	70,2	29,5	0,3
	4	77,3	22,3	0,2
	5	72,9	26,7	0,4
	6	72,3	27,4	0,3
Média		74,7	24,9	0,3
C.V. (%)		4,46	13,45	26,67
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	1	72,3	27,4	0,3
	2	70,4	29,2	0,4
	3	78,9	20,6	0,5
	4	80,0	19,5	0,5
	5	75,6	24,0	0,4
	6	71,3	28,6	0,1
Média		74,8	24,9	0,4
C.V. (%)		5,43	16,75	37,50
<i>P. oocarpa</i>	1	72,3	27,5	0,2
	2	71,9	28,0	0,1
	3	78,0	21,6	0,4
	4	73,4	26,3	0,3
	5	75,0	24,7	0,3
	6	76,0	23,7	0,3
Média		74,4	25,3	0,3
C.V. (%)		3,16	9,64	33,33
Teste F		0,02 ^{n.s.}	0,03 ^{n.s.}	1,15 ^{n.s.}

C.V. = Coeficiente de Variação

n.s. = não significativo

Os resultados alcançados nas análises químicas do carvão não mostraram haver diferenças significativas entre as espécies, em termos do índice de carbono fixo e índice de voláteis. Da mesma forma, estes valores se situaram próximos daqueles encontrados normalmente para carvão produzido a partir de madeiras de eucalipto.

4. CONCLUSÃO

As seguintes e principais conclusões que podem ser tiradas deste trabalho são:

O carvão de *Pinus* das três espécies testadas apresentou rendimentos de carbonização inferiores àqueles normalmente obtidos para as espécies tradicionais de eucalipto. Dentre as três espécies, o melhor rendimento foi alcançado com o uso de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Em termos físico-mecânicos, o carvão das três espécies de *Pinus* apresentou densidades inferiores às densidades apresentadas por espécies de eucalipto e normalmente citadas na literatura. Os valores mais elevados de densidade foram mostrados pelo carvão de *P. oocarpa*.

O carvão das três espécies, no entanto, mostrou comportamento muito bom no que diz respeito à resistência a choques indicado pelo teste de tamboramento, bem como mostrou uma granulometria apropriada para uso siderúrgico.

Com relação à composição química imediata, o carvão das espécies testadas mostrou resultados que podem se considerados normais.

Finalmente, conclui-se que, para fins siderúrgicos, a utilização do carvão vegetal obtido a partir de madeiras de *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. oocarpa* deverá levar, como consequência, a um maior consumo de madeira para conversão a carvão e uma exigência de maior consumo de carvão para redução de minérios, principalmente causados pelo menor rendimento de carbonização e menor densidade do carvão. Afora esses aspectos, tecnicamente, no entanto, o carvão de *Pinus* poderá ser utilizado em siderurgia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. Siderurgia brasileira a carvão vegetal. São Paulo, 234p. 1972.

BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. Correlação entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 2. densidade da madeira x densidade do carvão. *IPEF*, Piracicaba (20): 121-6, 1980.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. Resultados de 20 estudos dos produtos da destilação das madeiras amazônicas. 32p. 1972.

JUVILLAR, J.B. A carbonização descontínua da madeira em fornos de alvenaria. 1ª Jornada Técnica BRASIL-FRANÇA sobre Uso de biomassa na Siderurgia. Belo Horizonte, nov.1981.

Esta publicação é editada pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, convênio Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos publicados nesta circular, sem autorização da comissão editorial.

Periodicidade – irregular

Permuta com publicações florestais

Endereço:

IPEF – Biblioteca
ESALQ-USP
Caixa Postal, 9
Fone: 33-2080
13.400 – Piracicaba – SP
Brasil

Comissão Editorial da publicação do IPEF:

Marialice Metzker Poggiani – Bibliotecária
José Elidney Pinto Jr.
Comissão de Pesquisa do Departamento de Silvicultura – ESALQ-USP
Prof. Fábio Poggiani
Prof. Mário Ferreira

Diretoria do IPEF:

Diretor Científico – Prof. João Walter Simões

Responsável por Divulgação e Integração – IPEF

José Elidney Pinto Junior