



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Brasil

Stangerlin, Diego M.; de Melo, Rafael R.; Santini, Elio J.; Cordeiro, Sidney A.  
Comparação econômica entre os métodos de secagem de madeira ao ar livre e em estufa solar  
Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 7, 2012, pp. 850-856  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119025455023>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line) 1981-0997

v.7, suplemento, p.850-856, 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7isa1986

Protocolo 1986 - 06/12/2011 • Aprovado em 12/06/2012

Diego M. Stangerlin<sup>1</sup>

Rafael R. de Melo<sup>1</sup>

Elio J. Santini<sup>2,4</sup>

Sidney A. Cordeiro<sup>3</sup>

1 Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Distrito Industrial, CEP 78550-000, Sinop-MT, Brasil. Fone: (66) 3531-1663 Fax: (66) 3531-9796. E-mail: diego\_stangerlin@yahoo.com.br; rrmelo2@yahoo.com.br

2 Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Av. Roraima, 1000 - Campus Universitário, Prédio 44, Sala 5218, Laboratório de Produtos Florestais, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. Fone: (55) 3220-8915 Ramal 27. Fax: (55) 3220-8336. E-mail: ejsantini@gmail.com

3 Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, BR 135, Km 3, Planalto Horizonte, CEP 64900-000, Bom Jesus-PI, Brasil. Fone: (89) 3562-2265. Fax: (89) 3562-2535. E-mail: sidneyufv@yahoo.com.br

4 Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

# Comparação econômica entre os métodos de secagem de madeira ao ar livre e em estufa solar

## RESUMO

Objetivou-se analisar, com este estudo, os custos, viabilidade e as potencialidades de dois métodos de secagem de madeira – ao ar livre e em estufa solar, avaliando-se a influência do tempo de secagem da matéria-prima nos custos e, por conseguinte, os lucros do processo produtivo. Para tanto foram considerados os custos de implantação e operação, tal como também o tempo dispendido no processo de secagem da madeira em estufa solar e ao ar livre, ambos com capacidade de um m<sup>3</sup> de madeira serrada. De posse dos custos e dos rendimentos obtidos pela simulação do funcionamento de cada uma das unidades experimentais de secagem, determinaram-se: valor presente de custo e de receita; valor presente líquido; custo médio de produção; relação benefício x custo; benefício periódico equivalente; taxa interna de retorno e análise de sensibilidade em função da variação da taxa de juros. Constata-se, com base nos resultados obtidos, que tanto o processo de secagem em estufa solar quanto ao ar livre apresentam viabilidade econômica; apesar disto, a simulação desenvolvida para a secagem em estufa solar apresentou melhores indicadores financeiros, tornando-se menos sensível às variações nas taxas de juros.

**Palavras-chave:** industrialização florestal, relação benefício x custo, taxa interna de retorno, viabilidade econômica

## Economic comparison between wood - air drying process and solar kiln

## ABSTRACT

The present study aims to analyse the costs, feasibility and potential of two methods of drying wood – air drying and solar kiln, assessing the influence of drying time of raw material in costs and consequently in profits of the production process. For this, the costs of implementation and operation as well as time spent in the process of wood drying were considered for two experimental prototypes, solar kiln and air drying, both with a capacity of one m<sup>3</sup> of timber. Based on cost data and income obtained by simulation of the operation of each experimental unit of wood drying were determined: present value of cost and revenue; net present value; mean production cost; benefit x cost ratio; equivalent annual benefit; internal rate of return; sensitivity analysis due to the variation of interest rates. Based on the results obtained, from the established criteria, it appears that both drying processes have economic viability. However, the simulation developed for the solar kiln showed better financial indicators, being less sensitive to changes in interest rates.

**Key words:** industrialization forest, benefit x cost rate, internal rate of return, economic viability

## INTRODUÇÃO

Dentre os métodos convencionais de secagem amplamente empregados, verificam-se vantagens e desvantagens particulares que os caracterizam. A secagem ao ar livre, por exemplo, apesar de não necessitar de alto investimento inicial, tem o inconveniente de se realizar em um longo período de tempo e apresentar altos juros sobre o capital; outra desvantagem da secagem ao ar livre se refere ao teor de umidade final visto que, dificilmente, alcança índices abaixo da umidade de equilíbrio do ambiente em que se realiza o processo. Por sua vez, a secagem em estufa convencional é um processo que apresenta controle total das variáveis ambientais possibilitando uma redução do tempo de secagem além de otimização do controle da qualidade da madeira. Entretanto, este processo é caracterizado por utilizar temperaturas elevadas (45-90°C) as quais não são apropriadas para madeiras de difícil secagem devido à maior incidência de defeitos. Além disto, apresenta altos custos de investimento e de manutenção o que ocasiona certa restrição de seu emprego para secagem de madeiras em pequena e média escala (Stangerlin, 2009).

Visando ao desenvolvimento de um método intermediário entre a secagem ao ar livre e em estufa convencional surgiram, entre o fim da década de 50 e o início da década de 60, os primeiros estudos do emprego de estufas solares para secagem de madeira serrada (Troxell & Mueller, 1968).

Para possibilitar a competição entre os métodos de secagem solar e ao ar livre, os custos para construção dos secadores solares devem ser os menores possíveis. Neste sentido é conveniente que sejam empregados modelos facilitadores do processo construtivo e materiais de fácil obtenção com preços acessíveis, desde que esses valores inferiores não signifiquem na sua falta de qualidade (Santini, 1981). O princípio da secagem em estufa solar é de que o método seja de baixo custo operacional e apresente controle das condições de secagem. A estufa solar é composta, basicamente, de estrutura de madeira e cobertura transparente ou translúcida, de modo a favorecer a incidência dos raios solares no interior da câmara. Seu funcionamento se dá por meio de um sistema de coleta da energia solar para o aquecimento do ar e um sistema de distribuição do ar aquecido (Santini, 1981; Stangerlin, 2009).

Segundo Klitzke (2005) a secagem da madeira é fundamental no processo produtivo sendo responsável por grande parte do valor agregado ao produto final mas é, também, uma das ações que mais contribuem nos custos no processo de transformação, razão porque a busca de maior eficiência no processo de secagem deve ser procurada.

Considerando o custo de matéria-prima e que perdas de madeira representam baixo aproveitamento do recurso, a condução do processo de secagem, ao ar livre ou por estufas, deve ser planejada e executada cuidadosamente para que se obtenha êxito, em especial quanto à qualidade do produto final (Olandoski et al., 1998).

Dentre outros fatores a importância da secagem pode ser quantificada devido ao seu consumo energético, em que se gastam cerca de 70% da energia requerida para industrialização da madeira (Mendes, 1985). Isto implica que em tal processo é dispendido o maior volume de custos referente à fase de

beneficiamento da madeira. Desta maneira, estudos detalhados dessa fase, em conjunto com alternativas que visem à redução dos custos, podem resultar em ganhos satisfatórios para o setor industrial.

Como parte essencial do processo produtivo no setor madeireiro, a secagem tem grande representatividade em termos de imobilização de matéria-prima e capital, além dos custos do processo. A imobilização de matéria-prima se dá em função do tempo de secagem da madeira e de capital quando a madeira permanece longos períodos no pátio de estocagem ou, ainda, em consequência da aquisição de instrumentos, equipamentos e contratação de mão-de-obra. Referente aos custos, a operação de secagem é cara se comparada a outros processos produtivos podendo representar 50% dos custos para beneficiamento de madeira (Olandoski et al., 1998).

A análise econômica permite ajudar na tomada de decisões, fixação de preços e determinação das escolhas entre as soluções alternativas sobre a produção ou novas implantações. Os custos de produção possuem grande peso em uma organização visto que nesses custos há vários fatores passíveis de controle, determinantes na composição do preço de venda do produto (Bonduelle, 1997). Neste sentido objetivou-se, com este estudo, analisar os custos, viabilidade e as potencialidades de dois métodos de secagem de madeiras – estufa solar e ao ar livre, avaliando-se a influência do tempo de secagem da matéria-prima nos custos e, por conseguinte, os lucros do processo produtivo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Custos de implantação

Os custos de implantação são referentes à construção de secadores, os quais são variáveis de acordo com os materiais e a mão-de-obra (Santini, 1981). Os materiais necessários e sua quantidade, foram obtidos por meio da construção de protótipos experimentais realizados por Stangerlin (2009) para secagem solar e ao ar livre, ambos com capacidade para secagem de um m<sup>3</sup> de madeira serrada. Os valores médios dos produtos e da mão-de-obra, necessários para a produção dessas unidades experimentais foram obtidos por meio de consulta ao comércio local no município de Santa Maria, RS. Os materiais necessários e seus respectivos valores podem ser observados nas Tabelas 1 (secagem em estufa solar) e 2 (secagem ao ar livre).

### Custos de operação

No caso da estufa solar existe um custo de operação referente ao consumo de energia elétrica pelo ventilador de 0,5 hp. Tal aparelho permanece em funcionamento no período de maiores temperaturas dentro da estufa, acima de 25°C, o qual pode ser estimado como 10 h de funcionamento por dia. O consumo de energia médio do aparelho foi estimado em 0,3725 kW h<sup>-1</sup>; logo, para um dia de funcionamento seriam gastos 3,725 kW. Considerando o custo médio da energia elétrica no Estado do Rio Grande do Sul (0,27 R\$ kW<sup>-1</sup>) seria gasto aproximadamente 1,00 R\$ dia<sup>-1</sup> de funcionamento, o que resultaria em um gasto anual aproximado de 360,00 R\$.

A maior parte dos materiais utilizados nas unidades experimentais necessita ser substituída com o passar dos anos.

**Tabela 1.** Materiais e custos necessários para a produção de uma unidade experimental de estufa solar com capacidade de 1 m<sup>3</sup> de madeira serrada**Table 1.** Materials and costs required to produce one experimental unit of solar kiln with a capacity of 1 m<sup>3</sup> of sawn wood

Material	Valor unitário (R\$/x)	Quantidade necessária	Valor total (R\$)
Mourão tratado	20,00 R\$ m <sup>-3</sup>	10,0 m <sup>3</sup>	200,00
Madeira serrada (seca)	500,00 R\$ m <sup>-3</sup>	0,5 m <sup>3</sup>	250,00
Chapa de fibras dura	30,00 R\$ unid. <sup>-1</sup>	2,0 unid.	60,00
Compensado	40,00 R\$ unid. <sup>-1</sup>	3,0 unid.	120,00
Tinta óleo branca	30,00 R\$ galão <sup>-1</sup>	1,0 galão	30,00
Tinta óleo preta	40,00 R\$ galão <sup>-1</sup>	1,0 galão	40,00
Carpinteiro	100,00 R\$ diária <sup>-1</sup>	2,0 diárias	200,00
Ajudante de carpinteiro	50,00 R\$ diária <sup>-1</sup>	2,0 diárias	100,00
Forro de madeira	8,00 R\$ m <sup>-2</sup>	14,0 m <sup>2</sup>	112,00
Chapa de isopor	3,00 R\$ unid. <sup>-1</sup>	10,0 unid.	30,00
Eletricista	100,00 R\$ diária <sup>-1</sup>	0,5 diária	50,00
Plástico PVC	2,00 R\$ m <sup>-2</sup>	250,0 m <sup>2</sup>	500,00
Ventilador 0,5 hp	300,00 R\$ unid. <sup>-1</sup>	1,0 unid.	300,00
Tijolos	250,00 R\$ mil unid. <sup>-1</sup>	400,0 unid.	100,00
Pregos 10/10 com cabeça	11,00 R\$ kg <sup>-1</sup>	0,5 kg	5,50
Pregos 17/27 com cabeça	5,00 R\$ kg <sup>-1</sup>	0,5 kg	2,50
Pregos galvanizados 18/36	0,42 R\$ unid. <sup>-1</sup>	20,0 unid.	8,50
<b>TOTAL</b>			<b>2.108,50</b>

**Tabela 2.** Materiais e custos necessários para a produção de uma unidade experimental para secagem ao ar livre com capacidade de 1 m<sup>3</sup> de madeira serrada**Table 2.** Materials and costs required to produce one experimental unit for air drying with a capacity of 1 m<sup>3</sup> of sawn wood

Material	Valor unitário (R\$/x)	Quantidade necessária	Valor total (R\$)
Mourão tratado	20,00 R\$ m <sup>-3</sup>	12,0 unid.	240,00
Telhas de fibrocimento	45,00 R\$ unid. <sup>-1</sup>	4,0 unid.	180,00
Madeira serrada (seca)	500,00 R\$ m <sup>-3</sup>	0,2 m <sup>3</sup>	100,00
Prego galvanizado 18/36	0,42 R\$ unid. <sup>-1</sup>	20,0 unid.	8,50
Pregos 17/27 com cabeça	5,00 R\$ kg <sup>-1</sup>	0,5 kg	2,50
Carpinteiro	100,00 R\$ diária <sup>-1</sup>	1,0 diária	100,00
Ajudante de carpinteiro	50,00 R\$ diária <sup>-1</sup>	1,0 diária	50,00
<b>TOTAL</b>			<b>681,00</b>

**Tabela 3.** Tipo de material utilizado na produção das unidades experimentais para secagem e seu tempo de vida útil**Table 3.** Type of material used in the production of experimental units for drying and its lifetime

Material	Vida útil (anos)	Material	Vida útil (anos)
Plástico PVC	5	Chapa de fibra dura	5
Tijolos	10	Tinta, pregos	5
Ventilador	10	Mourão tratado	25
Compensado	5	Forro de madeira	5
Madeira serrada	5	Isopor	5

Com relação à vida útil de alguns dos materiais utilizados, foram consideradas sugestões apresentadas por Santini (1981) – Tabela 3.

Seja para estufa solar ou para secagem ao ar livre, seria oportuno um operador para empilhamento e retirada das peças de madeira, após a secagem; todavia, um único operador seria suficiente para manutenção de mais de uma unidade. Neste caso, serão considerados cerca de  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo mensal mais impostos, para cada unidade, o que foi estipulado como 255,00 R\$ mensais ou aproximadamente 3.060,00 R\$ anuais.

### Tempo de secagem

Quanto ao tempo de secagem foram utilizadas estimativas obtidas em estudos realizados por Stangerlin (2009) com a secagem de três diferentes espécies de *Eucalyptus*, utilizando-se

tábuas de madeira com aproximadamente 2,5 cm de espessura. Os estudos foram desenvolvidos no município de Santa Maria, localizado na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul. Ao comparar os métodos de secagem ao ar livre e em estufa solar, o autor concluiu que para a região citada nos períodos favoráveis (primavera/verão) o tempo médio de secagem foi de 20 dias para estufa solar e de 40 dias para secagem ao ar livre, enquanto nos períodos desfavoráveis (outono/inverno), os tempos de secagem observados foram, em média, de 30 e 75 dias para estufa solar e secagem ao ar livre, respectivamente.

### Valores da madeira seca

Conforme apresentado anteriormente, o custo da madeira serrada seca foi estimado em cerca de 500,00 R\$ m<sup>-3</sup>. Stangerlin et al. (2009) destacam que mesmo nos períodos mais favoráveis, considerando-se uma margem de tempo aceitável, a qualidade da madeira seca ao ar livre é inferior àquela seca em estufa elétrica ou mesmo solar visto que, para este caso, dificilmente a madeira atinge o teor de umidade final desejado. Com base em tal afirmativa considerou-se, neste trabalho, que peças de madeira seca em estufa solar apresentariam o custo de 500,00 e de 450,00 R\$ m<sup>-3</sup> quando seca ao ar livre.

O custo médio de peças de madeira serrada úmida foi de cerca de 300,00 R\$ m<sup>-3</sup>. Deste modo consideraram-se, como lucro líquido do processo de secagem, os valores de 200,00 e 150,00 R\$ m<sup>-3</sup> de peças secas em estufa solar e ao ar livre, respectivamente.

## Análise dos resultados

Ambos os projetos foram avaliados considerando-se a taxa de juros de 8% ao ano. De posse dos custos (de instalação e de operação) e dos rendimentos obtidos pela simulação do funcionamento das unidades experimentais, utilizaram-se critérios para análise econômica de projetos, sugeridos por Rezende & Oliveira (2008):

a) Valor Presente de Custos (VPC)

$$VPC = \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

b) Valor Presente de Receitas (VPR)

$$VPR = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j}$$

c) Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = VPR - VPC$$

d) Custo Médio de Produção (CMPr)

$$CMPr = \frac{\sum_{j=0}^n CT_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n PT_j (1+i)^{-j}}$$

e) Relação Benefício x Custo ( $R_{(i)}$ )

$$R_{(i)} = \frac{VPR}{VPC}$$

f) Benefício Periódico Equivalente (BPE)

$$BPE = \frac{VPL \left[ (1+i)^t - 1 \right] \times (1+i)^m}{(1+i)^m - 1}$$

g) Taxa Interna de Retorno (TIR)

$$TIR = \sum_{j=0}^n R_j (1+TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1+TIR)^{-j}$$

em que:

- R - valor atual das receitas
- C - valor atual dos custos
- i - taxa de juros
- j - período em que a receita ou custo ocorre
- n - número máximo de períodos
- CT - custo total
- PT - produção total
- t - número de períodos de capitalização

Para auxiliar na análise dos resultados foi realizada, ainda, uma análise de sensibilidade, com a qual se variou a taxa de juros, visando identificar sua influência nos resultados do

valor presente líquido (VPL) para cada unidade experimental considerando-se um período de cinco anos após sua implantação. Sendo assim, as variáveis foram avaliadas em função da variação na duração dos projetos e em função da variação na taxa de juros.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os custos, receitas e o saldo líquido do processo de secagem em estufa solar e ao ar livre, podem ser observados na Tabela 4. Quanto ao valor presente de custos (VPC) a estufa solar apresentou valores mais elevados pois sua concepção construtiva é mais especializada quando comparada ao ar livre e exige um volume maior de materiais. Ao longo dos anos e por sua maior velocidade na secagem, a estufa solar também apresenta maior demanda da matéria-prima (madeira serrada) o que também proporciona o aumento dos custos de operação. Em virtude disto, o valor presente de receitas (VPR) e o líquido (VPL) também se apresentam superiores para esse método, resultado de um volume maior de madeira seca produzida. De acordo com os resultados apresentados, a estufa solar é viável economicamente a partir do 2º ano do projeto, quando apresenta valores positivos para o VPL (VPL= R\$ 2.200,88); já a secagem ao ar livre se apresenta viável economicamente mas só a partir do 3º ano (VPL= R\$ 736,21).

Conforme mencionado por Rosso (2006) a secagem ao ar livre depende das condições atmosféricas, razão pela qual o tempo é relativamente longo, o que representa maiores custos. Ressalta-se também que este processo não pode ser controlado resultando em defeitos que podem desqualificar a madeira para a maioria dos usos. De acordo com Santini (1984) no município de Santa Maria, RS, a madeira exposta à secagem ao ar livre durante o período de menores insolações (outono/inverno), dificilmente alcançaria teores de umidade aceitáveis para o uso, uma vez que a média do teor de umidade de equilíbrio é de 17,5%. No caso da secagem em estufa solar, Bond (2006) afirma que nos meses mais quentes (verão) é possível secar madeira até um teor de umidade final de 8 a 10%.

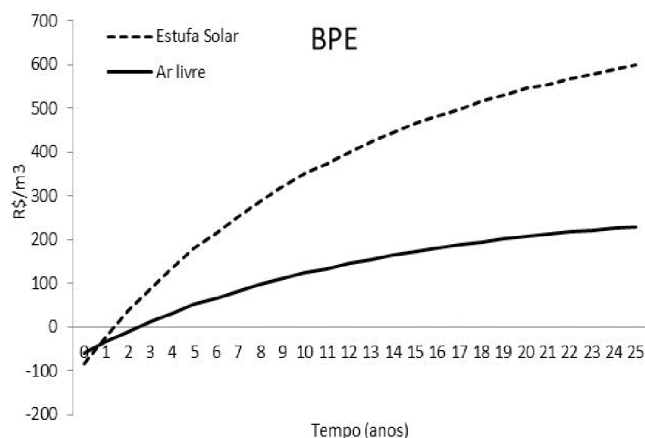
O benefício periódico equivalente (BPE) converte os fluxos de caixa líquidos em uma série equivalente de valores iguais e, em geral, anuais. Para a secagem em estufa solar o BPE mostrou-se positivo a partir do segundo ano de operação o que só veio a ocorrer no terceiro ano para secagem ao ar livre (Figura 1). Quanto ao volume de madeira seca por unidade experimental ( $V_j$ ) observa-se que já no primeiro ano a estufa solar proporciona mais que o dobro do estimado em relação à secagem ao ar livre, proporção que permanece até o vigésimo quinto ano (Tabela 5). Este evento ocorre principalmente em virtude das condições ambientais do local de estudo, no município de Santa Maria, RS, em que nos meses menos favoráveis a velocidade da secagem ao ar livre é mais lenta. A diminuição no tempo de secagem provoca uma redução de 25 a 50% no consumo de energia que, aliado a outros fatores, como juros, retorno de investimento e taxas, resulta na diminuição dos custos de secagem (McMillen & Wengert, 1978).

Ao término da simulação, isto é, aos vinte e cinco anos, o volume seco ao ar livre seria apenas 46% daquele obtido pela estufa solar. Esses resultados estão de acordo com Read

**Tabela 4.** Valores presentes de custos (VPC), receitas (VPR) e líquido (VPL), para as unidades experimentais de secagem solar e ao ar livre com capacidade de 1 m<sup>3</sup> ao longo de 25 anos

**Table 4.** Present values of cost (PVC), revenue (PVR) and net (NPV) for the experimental units of solar kiln and air drying with a capacity of 1 m<sup>3</sup> of sawn wood over 25 years

Ano	VPC (R\$)		VPR (R\$)		VPL (R\$)	
	Estufa Solar	Ar livre	Estufa Solar	Ar livre	Estufa Solar	Ar livre
0	5.169,00	3.741,50	0,00	0,00	-5.169,00	-3.741,50
1	11.064,56	6.315,57	9.722,22	4.182,87	-1.342,33	-2.132,70
2	16.523,40	8.698,98	18.724,28	8.055,90	2.200,88	-643,08
3	21.577,89	10.905,83	27.059,52	11.642,04	5.481,63	736,21
4	26.257,97	12.949,21	34.777,33	14.962,53	8.519,36	2.013,32
5	30.591,38	14.841,23	41.923,46	18.037,07	11.332,07	3.195,83
6	35.176,62	16.776,80	48.540,24	20.883,86	13.363,61	4.107,06
7	38.891,82	18.398,90	54.666,89	23.519,78	15.775,06	5.120,87
8	42.331,82	19.900,85	60.339,71	25.960,44	18.007,89	6.059,59
9	45.517,01	21.291,54	65.592,32	28.220,32	20.075,31	6.928,77
10	48.466,25	22.579,22	70.455,85	30.312,79	21.989,60	7.733,57
11	51.715,56	23.896,53	74.959,12	32.250,27	23.243,57	8.353,74
12	54.244,06	25.000,51	79.128,82	34.044,23	24.884,76	9.043,72
13	56.585,27	26.022,71	82.989,65	35.705,31	26.404,38	9.682,60
14	58.753,05	26.969,19	86.564,49	37.243,34	27.811,44	10.274,15
15	60.760,26	27.845,56	89.874,53	38.667,44	29.114,27	10.821,88
16	62.904,25	28.742,11	92.939,38	39.986,06	30.035,13	11.243,95
17	64.625,11	29.493,45	95.777,20	41.207,00	31.152,09	11.713,55
18	66.218,49	30.189,15	98.404,81	42.337,50	32.186,32	12.148,35
19	67.693,85	30.833,31	100.837,79	43.384,26	33.143,94	12.550,95
20	69.059,92	31.429,75	103.090,55	44.353,48	34.030,63	12.923,73
21	70.519,09	32.039,92	105.176,43	45.250,91	34.657,35	13.210,99
22	71.690,27	32.551,28	107.107,81	46.081,86	35.417,54	13.530,58
23	72.774,70	33.024,75	108.896,12	46.851,26	36.121,41	13.826,51
24	73.778,81	33.463,16	110.551,96	47.563,67	36.773,15	14.100,51
25	74.708,53	33.869,09	112.085,15	48.223,30	37.376,62	14.354,22



**Figura 1.** Benefício periódico equivalente (BPE) obtido para unidades experimentais de secagem solar e ao ar livre com capacidade de 1 m<sup>3</sup> de madeira, ao longo de 25 anos

**Figure 1.** Equivalent annual benefit (BPE) obtained for experimental units of solar kiln and air drying with a capacity of 1 m<sup>3</sup> of sawn wood over 25 years

et al. (1974), Sharma et al. (1974), Bois (1977) e Gough (1977) que afirmam que o tempo de secagem em estufa solar é aproximadamente duas vezes mais rápido que o verificado na secagem ao ar livre, considerando madeiras com espessura de 25 mm – similar à utilizada para obtenção das estimativas.

Embora os custos de implantação do secador solar tenham sido aproximadamente três vezes maiores para estufa solar (R\$ 2.100,00) quando comparada ao ar livre (R\$ 681,00) ao término do primeiro ano de operação, o custo médio de produção (CMP<sub>r</sub>) do primeiro foi inferior ao segundo, o que

pode ser atribuído ao volume produzido. Verificou-se, porém, uma inversão de tendência a partir do décimo primeiro ano de operação das unidades (Tabela 5). Nos dez primeiros anos da implantação a estufa solar, mesmo com o elevado custo de implantação (quando comparado ao ar livre), apresentou um custo menor de produção; a partir deste período a base para secagem ao ar livre obteve os menores custos, passível de ser explicado pelo fim da vida útil e da consequente substituição de uma gama de materiais (plástico PVC, tijolos, ventilador, madeira, compensado etc.) utilizados na estufa solar.

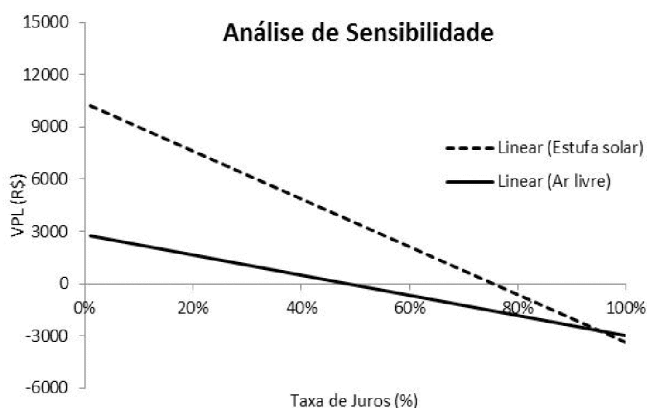
Ao término do ciclo de 25 anos os custos de produção foram reduzidos de 63,18 para 17,06 R\$ m<sup>-3</sup> (63%) em estufa solar e de 77,84 para R\$ 16,70 R\$ m<sup>-3</sup> (79%) em secagem ao ar livre. Tal resultado se justifica em razão de que o aumento do volume de produção acarreta redução dos custos fixos unitários para instalação, o que não ocorre com os custos vinculados à operação das unidades (Pindyck & Rubinfeld, 1994). Este comportamento também refletiu na relação benefício x custo ( $R_{(i)}$ ), que no primeiro ano, apresentou, para a secagem ao ar livre, uma relação equivalente a 75% da secagem solar e no último ano de instalação este percentual passou para 95%; entretanto, com tendência de estabilização. Logo, mesmo para um horizonte de longo tempo, o retorno do investimento por meio da secagem solar seria superior ao da secagem ao ar livre. A  $R_{(i)}$  apresentou-se superior para a estufa solar em comparação com a secagem ao ar livre, em que os maiores valores (1,50) foram verificados a partir do 23º ano, demonstrando que as receitas superaram os custos em 50%; para a secagem ao ar livre e no mesmo período, o valor da  $R_{(i)}$  foi de 1,42.

A TIR é a taxa à qual o VPL é igual a 0; desta forma, indica a máxima taxa de mercado que um projeto suporta. A

**Tabela 5.** Volume de madeira seca produzida ( $V_o$ ), custo médio de produção (CMPr) e relação benefício x custo ( $R_o$ ) para as unidades experimentais de secagem solar e ao ar livre com capacidade de 1 m<sup>3</sup>, ao longo de 25 anos

**Table 5.** Volume of dry wood produced ( $V_o$ ), the mean production cost (CMPr) and benefit x cost ratio ( $R_o$ ) for the experimental units of solar kiln and air drying with a capacity of 1 m<sup>3</sup> of sawn wood over 25 years

Ano	$V_o$ (m <sup>3</sup> )		CMPr (R\$ m <sup>-3</sup> )		$R_o$	
	Estufa Solar	Ar livre	Estufa Solar	Ar livre	Estufa Solar	Ar livre
0	0,00	0,00	-	-	-	-
1	15,00	6,95	63,18	77,84	0,88	0,66
2	30,00	13,90	47,18	53,60	1,13	0,93
3	45,00	20,85	41,07	44,80	1,25	1,07
4	60,00	27,80	37,49	39,90	1,32	1,16
5	75,00	34,75	34,94	36,58	1,37	1,22
6	90,00	41,70	33,48	34,46	1,38	1,24
7	105,00	48,65	31,73	32,39	1,41	1,28
8	120,00	55,60	30,22	30,66	1,43	1,30
9	135,00	62,55	28,88	29,16	1,44	1,33
10	150,00	69,50	27,68	27,83	1,45	1,34
11	165,00	76,45	26,85	26,77	1,45	1,35
12	180,00	83,40	25,81	25,68	1,46	1,36
13	195,00	90,35	24,86	24,67	1,47	1,37
14	210,00	97,30	23,96	23,74	1,47	1,38
15	225,00	104,25	23,13	22,88	1,48	1,39
16	240,00	111,20	22,45	22,14	1,48	1,39
17	255,00	118,15	21,71	21,38	1,48	1,40
18	270,00	125,10	21,01	20,67	1,49	1,40
19	285,00	132,05	20,34	20,00	1,49	1,41
20	300,00	139,00	19,72	19,37	1,49	1,41
21	315,00	145,95	19,18	18,80	1,49	1,41
22	330,00	152,90	18,61	18,24	1,49	1,42
23	345,00	159,85	18,07	17,70	1,50	1,42
24	360,00	166,80	17,55	17,18	1,50	1,42
25	375,00	173,75	17,06	16,70	1,50	1,42



**Figura 2.** Análise de sensibilidade a taxas de juros para o valor presente líquido (VPL) das unidades experimentais de secagem solar e ao ar livre, com capacidade de 1 m<sup>3</sup> de madeira ao longo de 25 anos

**Figure 2.** Analysis of sensitivity to interest rates for the net present value (NPV) of experimental units of solar kiln and air drying with a capacity of 1 m<sup>3</sup> sawn wood over 25 years

TIR apresentada foi de 35,18% (ar livre) e 66,21% (solar), considerando-se um projeto com horizonte de 25 anos. Para os dois casos, a TIR obtida foi maior que a taxa de desconto utilizada que, no caso, foi de 8% ao ano, significando que o projeto é viável, deste ponto de vista. Embora o custo de instalação de um secador solar seja naturalmente mais elevado que o da secagem ao ar livre e se considerando o menor tempo de secagem, o teor de umidade final e os percentuais de defeitos de secagem, a secagem solar se torna mais econômica em regiões climáticas pouco favoráveis à secagem ao ar livre (Santini, 1981; Stangerlin et al., 2009).

Quanto à análise de sensibilidade verifica-se que a secagem em estufa solar é menos sensível às variações na taxa de juros, apresentando valores negativos de VPL a partir de taxas de juros acima de 80%. Por sua vez, para a secagem ao ar livre os valores negativos de VPL ocorrem antecipadamente, a partir de 46% (Figura 2).

## CONCLUSÕES

Ambos os métodos de secagem da madeira apresentam viabilidade econômica, de acordo com os critérios utilizados.

A estufa solar apresentou melhores indicadores financeiros, sendo menos sensível às variações nas taxas de juro.

## LITERATURA CITADA

- Bois, P. J. Constructing and operating a small solar-heated lumber dryer. Madison: USDA Forest Service, 1977. 12p.
- Bond, B. Design and operation of a solar-heated dry kiln. Blacksburg: Virginia Tech. 2006. 10p.
- Bonduelle, G. M. Avaliação e análise dos custos da má qualidade na indústria de painéis de fibras. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. 288p. Tese Doutorado. <<http://www.eps.ufsc.br/teses97/bonduelle/index.html>>. 05 Abr. 2012.
- Gough, D. K. The design and operation of a solar timber kiln. Suva: Department of Forestry, 1977. 17p.
- Klitzke, R. J. Manual de secagem de madeira. Curitiba: UFPR, 2005. 119p.
- McMillen, J. M.; Wengert, E. M. Drying eastern hardwood lumber. Madison: Forest Products Laboratory, 1978. 104p.

- Mendes, A. S. Utilização de coletor solar parabólico na secagem da madeira. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1985. 104p. Dissertação Mestrado.
- Olandoski, D. P.; Bonduelle, G. M.; Cunha, A. B. Os custos da má qualidade na secagem de madeira em estufa. In: ENEGEP, 1998, Niterói. Anais... Niterói: ABEPRO, 1998. 7p.
- Pindyck, R. S.; Rubinfeld, D. L. Microeconomia. São Paulo: Maxron Books do Brasil, 1994. 968p.
- Read, W. R.; Choda, A.; Copper, P. I. A solar timber kiln. *Solar Energy*, v.15, n.4, p.309-316, 1974. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X74900218>>. 22 Mar. 2012. doi:10.1016/0038-092X(74)90021-8.
- Rezende, J. L. P.; Oliveira, A. D. Análise econômica e social de projetos florestais. Viçosa: UFV, 2008. 384p.
- Rosso, S. Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 91p. Dissertação Mestrado.
- Santini, E. J. Secagem de madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1981. 185p. Dissertação Mestrado.
- Santini, E. J. Umidade de equilíbrio para algumas cidades do Rio Grande do Sul. In: Congresso Florestal Estadual, 5, 1984, Nova Prata. Anais... Nova Prata: UFSM, 1984. p.828-840.
- Sharma, S. N.; Nath, P.; Bali, B. I. A solar timber seasoning kiln. *Journal of the Timber Development Association of India*, v.18, n.2, p.10-26, 1974.
- Stangerlin, D. M. Avaliação do uso de estufa solar para secagem de madeira serrada de eucalipto. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 113p. Dissertação Mestrado.
- Stangerlin, D. M.; Santini, E. J.; Susin, F.; Melo, R. R.; Gatto, D. A.; Haselein, C. R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. *Ciência Florestal*, v.19, n.4, p.461-472, 2009. <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/900/628>>. 12 Mar. 2012.
- Troxell, H. E.; Mueller, L. A. Solar lumber drying in the Central Rocky Mountain Region. *Forest Products Journal*, v.18, n.1, p.19-24, 1968.