

**A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM LÂMINAS
DE MADEIRA, DA ESPÉCIE PAU MARFIM TRATADA COM
PRODUTOS QUÍMICOS, POR CÂMERA DE ENVELHECIMENTO E
ESPECTROCOLORIMETRIA.**

Clarissa Melo Lima, Eng.

Engenheira Química
Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal
Caixa Postal 04357
Brasília-DF 70919-970
Telefone: +55 61 3526.2408
clarissaufc@gmail.com

Luiz Fernando Xavier da Silva, Eng.
Joaquim Carlos Gonzalez, Dr.
Reginaldo Sergio Pereira, Dr.
Tito Ricardo Vaz da Costa, Eng.

1. RESUMO

Este trabalho testou produtos no combate ao envelhecimento da madeira. Através de uma câmara de envelhecimento e aparelho de espectrocolorimetria, caracterizou a influência de produtos químicos de acabamentos aplicados a madeira durante processo artificial de fotodegradação. Acompanhou-se o envelhecimento do Pau Marfim (*Balfourodend riedelianum*) por 8.807 medições colorimétricas, após receber ciclos de radiação ultravioleta durante períodos: 20, 40, 60, 80, 120, 180, 250, 310, 410 e 500 horas. Os dados foram transportados para o Excel e processados. O sistema CIE $L^*a^*b^*$ de 1976 mostrou as modificações das cores. Verificou-se a eficiência dos produtos aplicados na proteção da madeira.

Palavras – chaves: madeira, radiação ultravioleta, colorimetria.

2. INTRODUÇÃO

A madeira de Pau marfim (*Balfourodendron riedelianum*) possui massa específica aparente a 15% de umidade entre 0,80 e 0,90g/cm³, e massa específica básica entre 0,69 a 0,73 g/cm³. É considerada uma madeira densa.⁹

A madeira de Pau Marfim pode ser usada para fabricação de móveis de luxo, molduras, guarnições internas, portas, artefatos domésticos, peças torneadas, laminados decorativos, tacos para assoalhos, carpintaria marcenaria em geral.⁵

Há vários fatores, que quando a madeira é exposta, afetam a sua qualidade: a umidade, o calor, a luz solar, os raios Ultravioleta e a luz visível. O efeito das intempéries provocam degradação física na madeira tal como: mudanças de cor, aspereza superficial, rachaduras e fissuras. Na deterioração química também se verifica a mudança da coloração da madeira.

A fotodegradação da madeira é um fenômeno superficial, devido à grande quantidade de grupos (carbonila, dupla ligação, hidroxila fenólica etc) ou sistemas cromóforos (quinomas, bifênil etc.) dos componentes distribuídos na camada externa, que impedem a entrada da luz da madeira. A radiação ultravioleta consegue penetrar até uma profundidade de 75µm e a visível atinge cerca de 200 µm, dependendo da cor original da madeira. Apesar da radiação visível penetrar mais profundamente, sua energia menor do que 70 Kcal/mol, é insuficiente para romper as ligações químicas em qualquer um dos constituintes da madeira.^{6,3}

Essas variações na coloração da madeira estão associadas com a formação e a fotodecomposição de produtos cromóforos da lignina.³

A modificação da cor das madeiras é mais freqüentemente mensurada pelo sistema CIE- $L^*a^*b^*$, de acordo com as variações da claridade ou luminosidade ΔL^* e pelas coordenadas Δa^* e Δb^* , que correspondem aos pares de cores vermelho-verde e amarelo-azul, respectivamente.

Esse ensaio foi visado a atender o interesse do público consumidor, que busca um diferencial em relação ao produto adquirido. Assim, neste trabalho foram testados formas de proteção para retardar o envelhecimento da madeira Pau Marfim através de produtos químicos de acabamentos aplicados a madeira.

Esta pesquisa tem por objetivo a caracterização, através de uma câmara de envelhecimento e com um aparelho de colorimetria, verificar a influência de produtos químicos de acabamentos aplicados a madeira durante um determinado processo artificial de fotodegradação.

Demonstrou-se a influencia da radiação ultravioleta artificial durante o processo de envelhecimento da madeira . Assim, pode-se relacionar a diferença de tempos sob a influência da radiação ultravioleta artificial com o acompanhamento da mudança de cor da madeira nos respectivos tratamentos com produtos de acabamentos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho realizou-se na Universidade de Brasília, no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal.

A madeira da espécie Pau Marfim (*Balfourodendron riedelianum*) foi adquirida no mercado de Brasília como lâminas de comprimento inicial de 250 cm e meio e 14 cm de largura.

Confeccionou-se 32 corpos de provas das lâminas com dimensões de 1,4 cm x 7 cm x 5 cm (espessura x comprimento x largura). Em seguida os corpos de prova foram lixados de forma manual com uma lixa grana 100. Após, os corpos foram submetidos a quatro tratamentos distintos: tratamento 1 - oito corpos com as lâminas de madeira em estado natural; tratamento 2 - oito corpos de prova tratados com um produto de acabamento a óleo de peroba; tratamento 3 - oito corpos de prova tratados com um produto de acabamento seladora; tratamento 4 - oito corpos de prova foram tratados com uma combinação de seladora e óleo de peroba. No caso deste tratamento, os oito corpos de prova foram tratados inicialmente com seladora para fazer o fundo e para finalizar, utilizou-se óleo de peroba.

O óleo de peroba é um produto químico feito a base de extratos vegetais e composto dos seguintes ingredientes: óleo mineral, óleo vegetal, solvente mineral, solvente vegetal e aromatizante.

A seladora é um produto químico sintético composto dos seguintes ingredientes: resinas sintéticas e nitrocelulose, álcool etílico, xileno, acetato de butila e metil etil cetona.

Após a verificação da secagem da primeira camada dos produtos de acabamentos, novamente as amostras passaram por um outro polimento manual sendo que desta vez usou-se uma lixa grana 150. Em seguida, os corpos de provas receberam uma segunda camada dos tratamentos conforme mencionados anteriormente.

Assim para a terceira demão de produtos, procedeu-se da mesma forma anterior utilizando-se a lixa de 220. Finalizando as amostras receberam os produtos de acabamentos finais.

Após as amostras seguirem para medição da cor no aparelho de colorimetria. Depois tais amostras de madeiras foram colocadas dentro de uma câmara de envelhecimento para receber ciclos de radiação ultravioleta durante período de 20 horas.

Em seguida, retirou-se as amostras da câmara de envelhecimento e mais uma vez as amostras foram para medição de cor no aparelho de colorimetria. Por conseguinte, as amostras retornaram para câmara de envelhecimento para receberem mais 20 horas de radiação ultravioleta. Realizou-se esse envelhecimento artificial da madeira até se completar um período de 500 horas.

Assim, neste trabalho foi acompanhado o envelhecimento do Pau Marfim (*Balfourodend riedelianum*) por espectrocolorimetria. Tais amostras de madeiras foram colocadas dentro de uma câmara de envelhecimento para receber ciclos de radiação ultravioleta durante períodos de 20, 40, 60, 80, 120, 180, 250, 310, 410 e 500 horas.

Realizaram-se 8.807 medições colorimétricas, uma antes de cada ciclo e uma ao final de cada ciclo. Todas as amostras tratadas com diferentes produtos de acabamentos

aplicados a madeira sofreram alteração de cor. De início se verificou um rápido escurecimento das amostras e em seguida, de forma gradativa, iniciou-se um suave clareamento das amostras. Os parâmetros colorimétricos de acordo com o sistema CIE-L*, a* b* 1976 foram usados para verificar as modificações das cores. Os dados do espectrofotômetro foram transportados para o programa Excel e processados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos encontrados nos quatro tratamentos, durante os ciclos de exposição UV variando até quinhentas horas são apresentados na Tabela 1.

[TABELA 1]

As médias são resultado de medidas com duzentas repetições para cada um dos tratamentos e para cada um dos onze ciclos de tempo. Os valores médios referentes a um mesmo ciclo de tempo diferem significativamente entre si, considerando um intervalo de confiança de 5%, para o teste de comparação de médias de Tukey.

Em todos os tratamentos, as coordenadas a* e b* são as principais responsáveis pela formação da cor das madeiras. Considerando estudos anteriores a luminosidade da madeira é considerada escura para o valor de L menor ou igual a 56 e, como cor clara, para o valor de L acima de 56. Seguindo essa classificação, podemos afirmar que apenas as amostras submetidas ao tratamento 1 podem ser consideradas claras ao final do período de medição.¹

Relativo a formação da cor, pode-se observar uma tendência para a coloração vermelha em todos os tratamentos, uma vez que a coordenada (+)a* ficou com índice acima de 10, em todos os casos quando o ciclo de medição superou as 60 horas. Observou-se ainda em todos os tratamentos um aumento gradual do índice da coordenada (+)b*, matiz amarela, até o ciclo de medição de 310h, seguido de uma diminuição deste indicador. O comportamento indica a existência de um ponto de inflexão da curva de b*, com diminuição da componente amarela a partir deste período de incidência luminosa.

No tratamento 3 a coordenada (+)a* atingiu seu maior valor, 21,26, resultando na classificação de cor vermelha para o Pau marfim, após 500 horas de incidência de radiação UV.

As constatações descritas são confirmadas quando analisamos o comportamento da tonalidade (ângulo de tinta, h°) das amostras. A variável h° compreende ângulos entre 0° e 90°, o que significa variação da matiz vermelha para amarela, respectivamente. Analisando os tratamentos a que submetemos o Pau marfim, podemos afirmar que em todos os casos houve diminuição do ângulo, indicando uma tendência para a tonalidade vermelha.

As variações dos parâmetros colorimétricos provocadas pelos onze ciclos de radiação UV, totalizando 500 horas de radiação, encontram-se na Tabela 2.

[TABELA 2]

Pela análise da Tabela 2 constata-se, a partir dos valores negativos de ΔL^* , que houve um escurecimento na superfície do Pau marfim em todos os tratamentos, ao final dos onze ciclos de radiação UV. Percebe-se ainda que esse escurecimento foi mais representativo nas primeiras 80 horas de radiação ultravioleta.

Observa-se que, no caso dos tratamentos 3 e 4, após cerca de 180 horas de radiação, houve uma inversão da declividade do ΔL^* , sugerindo o final do processo de escurecimento da madeira e possivelmente uma estabilização (Figura 1).

Resultados semelhantes foram encontrados para o Jatobá e do Tauari sob radiação UV por um período de 168 horas.² Em estudos semelhantes, verificou-se ainda que esse processo de clareamento com madeiras avermelhadas tende a estabilizar-se à medida que aumenta o tempo de tratamento.⁴

[FIGURA 1]

O escurecimento inicial da madeira seguido é atribuído à formação de compostos quinoidais em função, sobretudo, da degradação da lignina pela radiação UV na presença de oxigênio. A lignina é o constituinte polimérico da madeira com maior capacidade de absorver energia ultravioleta e visível, pois apresenta uma banda de absorção máxima em 280 nm que se estende até a região do visível, acima de 400 nm.^{6,8} A absorção da luz leva à formação de radicais livres que reagem com o oxigênio e produzem grupos carbonílicos e carboxílicos cromóforos, que por sua vez promovem a variação de cor da madeira. Normalmente, primeiro a coloração da madeira sob irradiação sofre escurecimento e, em seguida, clareamento tendendo a acinzentado.

Para o parâmetro Δa^* , o tratamento 3 provocou a maior variação (-25,47) e o tratamento 1 o menor (+6,72). Considerando o parâmetro Δb^* , a maior variação foi observada no tratamento 2 (+9,97) e a menor no tratamento 4 (-1,92). Em todos os casos pode-se afirmar existir uma maior estabilidade para o amarelo já que esta coordenada cromática foi a que variou menos.

A variação total da cor (ΔE^*), determinada pela raiz quadrada da soma dos quadrados das variações de L^* , a^* e b^* , leva em consideração as diferenças das coordenadas cromáticas e de luminosidade, fornecendo uma visão geral sobre o desempenho das madeiras sob radiação UV. A Figura 2 ilustra o comportamento do Pau marfim submetido aos quatro tratamentos aqui estudados.

[FIGURA 2]

Pela observação da Figura 2 pode-se afirmar que o desempenho do ΔE^* para os quatro tratamentos analisados teve comportamento semelhante a partir das 180 horas de radiação, ou seja, variação total de cor pouco perceptível ($0,5 < \Delta E^* < 1,5$). No início das medições (até 180 horas), observou-se uma variação total de cor notável ($3 < \Delta E^* < 6$).

Em estudos similares, observou-se que as curvas tendem a estabilizar-se com o tempo de radiação, formando um patamar. Tal conclusão foi ratificada pelas medições realizadas nestes estudos.^{7,10}

A refletância do Pau marfim em função do comprimento de onda pode ser observada na Figura 3. Neste caso apresenta-se curvas em intervalos de tempo de 0, 120 e 500 horas para os quatro tratamentos analisados.

[FIGURA 3]

Considerando o espectro de luz visível (400-700nm) é possível afirmar que existe um comportamento padrão da refletância do Pau marfim submetidos aos quatro tratamentos distintos. Em todos os casos o percentual de refletância caiu entre os tempos 0 e 120 horas, seguido de um aumento da refletância entre os tempos 120 e 500 horas. O

comportamento da reflectância corrobora as constatações acerca do comportamento da variação de cor da madeira.

5. CONCLUSÕES

A espectrocolorimetria possibilitou a obtenção de uma visão matizadora das lâminas em estudo, quando submetidas à radiação UV artificial.

As laminas de madeiras da espécie estudada sofreram alteração de cor causada pela fotodegradação, e foram classificadas como corpos de prova das laminas com alteração de cor bastante apreciável. Os corpos de prova das laminas com seladora apresentou maior tendência para avermelhar-se, enquanto os corpos de prova em estado natural e os outros corpos de prova com tratamento de óleo de peroba apresentou coloração amarelo alaranjado. Além disso, os corpos de prova com tratamento de uma combinação de seladora mais óleo de peroba exibiu a coloração amarelo amarronzado.

Os resultados obtidos para o ΔE^* sugerem que esta madeira apresenta maior resistência à radiação UV quando é tratada com óleo de peroba.

As informações asseguram que a aderência do verniz (óleo de peroba) e seu acabamento superficial realizados sobre as laminas de madeiras desta espécie, irão sofrer alterações em suas cores com o passar do tempo, porém quando comparadas com o envelhecimento provocado com o uso da seladora, constatou-se que óleo de peroba preservou com qualidade melhor a cor da madeira no combate ao seu envelhecimento.

O estudo serve para o mercado apresentar aos seus clientes, com segurança, as informações de como preservar características de brilho, de cor e de textura da madeira em uso ao longo do tempo.

6. REFERÊNCIAS

1. Barreto, C. C. K.; Pastore, T. C. M. 2009. Resistência ao intemperismo artificial de quatro madeiras tropicais: o efeito dos extrativos. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 23-30.
2. Camargos, J. A. A.; Gonzalez, J. C. A. 2001. Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Revista Brasil Florestal*, v. 71, p. 30-41.
3. Costa, J. A., Gonzalez, J. C., Camargo, J. A. A., Gomes, I. A. S. 2011. Fotodegradação de duas espécies tropicais: JATOBÁ (*Hymenaea courbaril*) e TAUARI (*Couratari oblongifolia*) submetidas à radiação ultravioleta. *Revista Cerne*, Lavras, v. 17, n. 1, p. 133-139.
4. Hon, D. N. S. 2001. Weathering and Photochemistry of Wood. In: Hon, D. N. S.; Shiraishi, N. *Wood and Cellulosic Chemistry*; New York; Ed. M. Dekker.
5. Jankowsky, I. P.; Chimelo, J. P.; Cavancante, A. de A.; Galina, I. C. M.; Nagamura, J. C. S. 1990. *Madeiras brasileiras*. Caxias do Sul; Ed. Spectrum. 172 p.

6. Lorenzi, H. 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa; Ed. Plantarum, 352p.
7. Pastore, T. C. M. 2004. Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias RAMAN (FT-RAMAN), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*); Tese de Doutorado; Brasília – Brasil; Universidade de Brasília, 131 p.
8. Pastore, T. C. M.; Oliveira, C. C. K.; Rubim, J. C.; Santos, K. S. 2008. Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT). Revista Química Nova, v. 31, n. 8.
9. Silva, J. O.; Pastore, T. C. M. 2004. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais; Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 7-13,
10. Silva, J. O.; Pastore, T. C. M. 2007. Pastore Júnior, F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento; Revista Ciência Florestal, v. 17, p. 17-23.

LEGENDAS DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de variação do parâmetro ΔL^* provocada pela fotodegradação.

Figura 2 – Curva de variação do parâmetro ΔE^* provocada pela fotodegradação.

Figura 3 – Reflectância do Pau marfim submetido a diferentes tratamentos em função do comprimento de onda da luz para diferentes níveis de radiação UV.

TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 – Parâmetros colorimétricos médios dos tratamentos estudados

Tratamento	Radiação UV (horas)	L*	a*	b*	C*	h*	Nome da cor (**)
1	0	70,32	6,98	28,49	29,33	76,24	Amarelo Claro
	20	70,66	7,05	28,60	29,46	76,16	
	40	68,37	9,64	36,49	37,74	75,20	
	60	65,13	11,14	38,27	39,86	73,77	
	80	64,89	11,53	38,47	40,16	73,32	
	120	63,56	11,80	38,14	39,92	72,81	
	180	64,08	12,60	38,90	40,89	72,05	
	250	63,56	12,96	38,51	40,64	71,40	
	310	63,64	13,83	39,26	41,62	70,60	
	410	62,06	13,87	38,41	40,84	70,14	
	500	61,49	13,70	37,10	39,55	69,73	Amarelo Alaranjado
2	0	71,15	7,20	29,26	30,14	76,17	Amarelo Claro
	20	56,62	12,63	35,53	37,72	70,43	
	40	55,72	14,10	36,87	39,49	69,06	
	60	53,34	14,43	36,79	39,53	68,57	
	80	53,73	14,48	37,29	40,01	68,77	
	120	53,69	14,56	37,45	40,18	68,73	
	180	54,50	15,16	38,65	41,52	68,56	
	250	54,56	15,47	39,46	42,39	68,58	
	310	54,63	16,11	40,78	43,85	68,43	
	410	53,61	15,91	39,63	42,71	68,11	
	500	53,59	16,19	39,23	42,45	67,56	Amarelo Alaranjado
3	0	71,01	7,13	28,67	29,55	76,04	Amarelo Claro
	20	66,78	9,65	34,90	36,21	74,55	
	40	60,22	15,70	41,66	44,52	69,37	
	60	51,20	17,26	38,43	42,16	65,79	
	80	46,95	16,26	34,55	38,22	64,72	
	120	45,98	17,35	34,02	38,25	62,83	
	180	47,49	19,87	36,25	41,42	61,11	
	250	46,72	20,29	36,50	41,84	60,72	
	310	47,27	21,58	38,50	44,24	60,47	
	410	46,32	21,68	37,18	43,13	59,53	
	500	45,54	21,26	35,51	41,48	58,83	Vermelho
4	0	70,52	7,16	28,98	29,85	76,13	Amarelo Claro
	20	59,48	11,70	34,19	36,15	71,11	
	40	52,35	15,37	34,39	37,68	65,90	
	60	47,77	15,82	30,13	34,06	62,18	
	80	46,12	15,22	28,47	32,31	61,73	
	120	46,63	15,89	27,93	32,17	60,20	
	180	47,54	16,99	28,52	33,26	59,01	
	250	46,81	17,41	28,13	33,14	57,97	
	310	46,72	18,18	29,28	34,53	57,90	
	410	45,89	17,74	27,82	33,05	57,20	
	500	45,99	17,73	27,06	32,42	56,39	Amarelo Amarronzado

(**) Representa a cor natural da madeira conforme classificação proposta por Camargos e Gonzalez. ⁵

Tabela 2 – Variações dos parâmetros de cor na superfície do Pau marfim submetidos a diferentes tratamentos.

Parâmetro	Tratamento	Tempo de radiação UV (horas)									
		20	40	60	80	120	180	250	310	410	500
ΔL^*	1	0,33	-2,28	-3,25	-0,24	-1,33	0,52	-0,52	0,08	-1,58	-0,57
	2	-14,53	-0,90	-2,38	0,39	-0,04	0,81	0,06	0,07	-1,02	-0,02
	3	-4,23	-6,56	-9,02	-4,25	-0,97	1,51	-0,77	0,56	-0,96	-0,78
	4	-11,04	-7,13	-4,58	-1,65	0,51	0,91	-0,73	-0,08	-0,83	0,10
Δa^*	1	0,07	2,59	1,50	0,39	0,27	0,80	0,36	0,87	0,05	-0,17
	2	5,43	1,47	0,33	0,05	0,09	0,60	0,30	0,65	-0,20	0,28
	3	-4,23	-6,56	-9,02	-4,25	-0,97	1,51	-0,77	0,56	-0,96	-0,78
	4	-11,04	-7,13	-4,58	-1,65	0,51	0,91	-0,73	-0,08	-0,83	0,10
Δb^*	1	0,11	7,89	1,77	0,21	-0,33	0,76	-0,39	0,74	-0,85	-1,31
	2	6,27	1,34	-0,08	0,50	0,15	1,20	0,82	1,32	-1,15	-0,40
	3	6,22	6,76	-3,23	-3,88	-0,53	2,22	0,25	2,00	-1,32	-1,67
	4	5,21	0,20	-4,26	-1,66	-0,54	0,59	-0,40	1,15	-1,46	-0,76
ΔE^*	1	0,50	4,20	2,52	0,63	1,25	1,14	0,82	1,09	1,48	1,27
	2	6,54	1,68	1,79	0,74	0,32	1,35	0,91	1,29	1,34	0,62
	3	4,21	5,09	5,57	3,71	1,29	2,12	1,08	1,67	1,53	1,59
	4	6,47	4,67	3,92	2,01	0,93	1,26	1,07	1,10	1,52	0,84

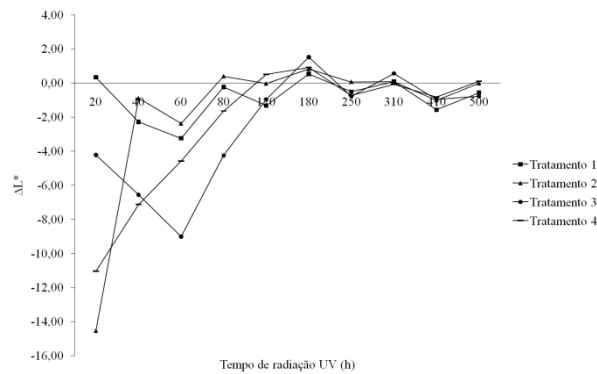


Figura 1 – Curva de variação do parâmetro ΔL^* provocada pela fotodegradação

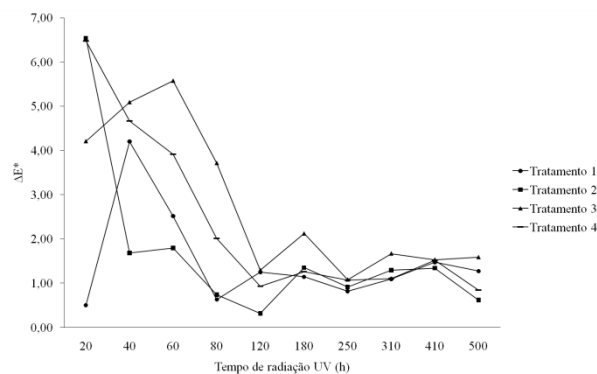


Figura 2 – Curva de variação do parâmetro ΔE^* provocada pela fotodegradação

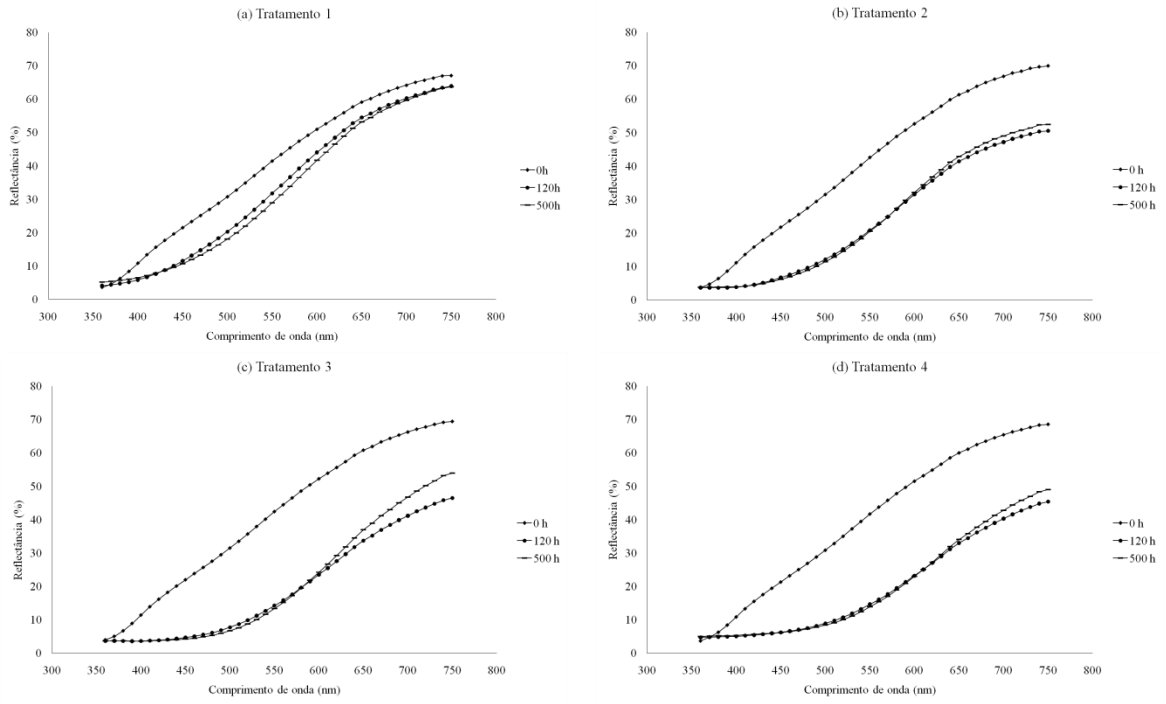


Figura 3 – Reflectância do Pau marfim submetido a diferentes tratamentos em função do comprimento de onda da luz para diferentes níveis de radiação UV.