

TRATAMENTOS SUSTENTÁVEIS E INOVADORES PARA A INDÚSTRIA DA MADEIRA

Resumo — A madeira é um recurso natural e uma das matérias-primas mais utilizadas. É a base de um dos tradicionais setores industriais portugueses, com forte imponentia a nível global.

Devido ao seu alargado leque de aplicações, este material, conta como a base para variadíssimos projetos, que requerem o aparecimento de produtos que aliem a inovação e a criatividade de forma assegurar a sua crescente procura. É neste sentido que o trabalho descrito neste artigo se torna de grande relevo, pois prima pela preocupação ambiental, desenvolvimento empresarial e inovação no ramo industrial. Neste projeto procedeu-se à síntese e otimização de diferentes pigmentos fosforescentes que foram posteriormente aplicados na formulação de um novo revestimento para a madeira. Este novo revestimento permitirá a valorização deste material de construção que é tão apreciado pelos consumidores acrescentando-lhe características únicas e inovadoras.

Palavras-Chaves - Tratamento, Fósforo, Pigmento, Tempo, Brilho.

I. INTRODUÇÃO

O projeto apresentado neste artigo foi realizado em parceria com uma empresa do setor da madeira e derivados, a Ferreira Martins & Filhos S.A.

O óleo fosforescente desenvolvido tem como principal característica tornar a madeira fosforescente, emitindo luminosidade durante a noite sem a presença de luz externa, mantendo as propriedades naturais do material intactas. Assim, durante o dia a madeira apresenta um aspeto, cor e cheiro naturais e após a cessação da fonte de luz, esta emite luz durante um período que pode variar entre minutos a horas.

A madeira é um produto de origem natural, que não necessita de transformação industrial, além dos tratamentos

inerentes às suas características.

É um material renovável, reciclável e biodegradável. Além disso, o seu baixo custo económico face a outros tipos de materiais de construção (betão, aço e alumínio), o fácil manuseamento laboral e a excelente capacidade de isolamento térmico e elétrico, são características que tornam a madeira num excelente produto para construção [1].

A madeira que é proveniente das árvores situadas no interior das florestas, para além da grande importância industrial associada, acresce uma grande responsabilidade ambiental, visto que as árvores, de onde a madeira é produzida ajudam na renovação do ar com o consumo de CO₂ (dióxido de carbono) e libertação de O₂ (oxigénio), sendo isto fundamental para precaver o aquecimento global e para manter um bom nível de qualidade do ar.

Apesar das vantagens acima descritas associadas ao uso deste material existem também alguns inconvenientes, tais como, a vulnerabilidade à humidade (visto ser um material higroscópico), a vulnerabilidade ao fogo devido à sua capacidade de combustão, e não descurando os agentes externos (vento, chuva, granizo, neve) que também afetam a durabilidade e resistividade do material. Para além destes fatores, quando não são praticadas as medidas de manutenção necessárias, a madeira acaba por se degradar, sendo o ato de arejamento fundamental para um maior aproveitamento.

Como tal, para contornar este problema existem no mercado alguns tratamentos para a madeira. Nos dias que correm é usual a aplicação de um pré-tratamento à base de óleos e vernizes que, para além de se obter um acabamento mate ou brilhante, conforme a quantidade utilizada, também hidrata e torna a madeira mais resistente aos agentes naturais [1].

Com vista à modernização do mercado das madeiras, tem sido crescente a procura de novos revestimentos que mantenham as propriedades naturais da madeira inalteradas, tornando este material mais atrativo, interessante e principalmente mais rentável [2].

A. Pigmentos Fosforescentes

A fosforescência é um caso particular de um fenómeno geral denominado luminescência. Os materiais luminescentes emitem luz quando expostos a uma fonte de excitação, e podem ser classificados de acordo com o tempo de vida da emissão em fluorescentes, quando imitem luz durante a exposição à radiação e depois de cessada esta voltam ao seu estado normal/fundamental, e fosforescentes, quando a emissão persiste durante um período de tempo depois da excitação, como se pode observar na Figura 1 [3].

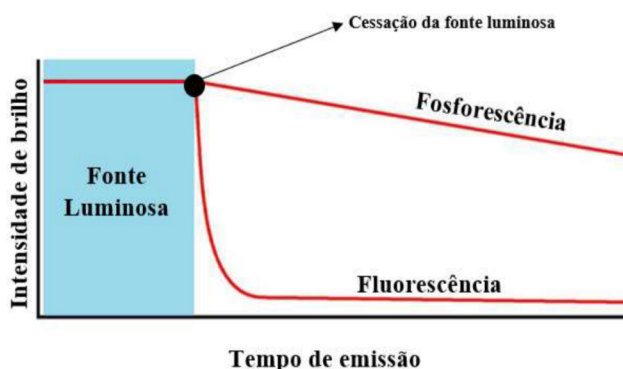


Figura 1 - Decaimento da intensidade de brilho de um material fosforescente e material fluorescente.

Os pigmentos fosforescentes, usualmente denominados de fósforos foram descobertos no início do século XVII por um alquimista Italiano de seu nome Vincentinus Casciarolo. De certa forma ocasional, este alquimista ao tentar obter um novo metal, atirou um cristal com brilho para o interior de um vulcão. O resultado não foi o novo metal pretendido, mas um material luminescente que emitia luz vermelha no escuro após exposição à radiação solar [4].

Com o aprofundar do conhecimento descobriu-se que a composição deste novo material era BaSO_4 (Sulfato Bário).

Mais tarde diversos derivados deste composto foram sintetizados originando diferentes cores e graus de intensidade [4].

Os pigmentos fosforescentes podem ser classificados consoante a duração da sua emissão após cessação da fonte de radiação, em pigmentos fosforescentes de curta ou longa duração. No primeiro caso, a duração da emissão pode durar apenas alguns segundos enquanto que, no segundo caso a duração da emissão do pigmento após exposição à fonte de radiação pode variar entre minutos a horas. Estes últimos têm um maior interesse científico já que têm um elevado potencial em possíveis aplicações industriais. Este projeto irá focar-se em pigmentos fosforescentes de longa duração.

B. Fósforos de longa duração

Os fósforos de longa duração (do inglês *Long Lasting Phosphors*, LPP) possuem maior capacidade de reter a radiação, emitindo durante um longo período de tempo. O tempo de vida do fósforo é muito superior ao tempo de exposição, tornado este tipo de fósforo mais rentável industrialmente. Esta propriedade, devido à sua estrutura eletrônica, permite emissão de luz no escuro sem que seja necessário recorrer a luz artificial [4].

A longa emissão por parte deste tipo de material é consequência da energia armazenada na rede cristalina devido aos fenómenos de “captura” (do inglês *traps*) de carga, que são produzidas durante a excitação dos átomos.

Os primeiros fósforos conhecidos foram os sulfatos, no entanto estes materiais fosforescentes possuíam um tempo de vida muito curto levando à introdução de elementos radioativos como o Trítio (^3H). A curto prazo percebeu-se que não seria a melhor solução devido aos problemas que a radioatividade provoca na saúde [3].

Na década de 90 Matsuzawa divulgou um novo tipo de fósforo de longa duração, $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}/\text{Dy}^{3+}$, situado no espectro do visível com o comprimento de onda na ordem

dos 520nm (cor verde) este fósforo emitiu radiação por cerca de 16h. Alguns anos mais tarde surge uma nova composição de fósforo de emissão prolongada, CaAl₂O₄:Ce³⁺/Nd³⁺ revelando uma cor azulada. Pouco tempo depois surge uma nova estequiometria do composto primeiramente descrito, Sr₄Al₁₄O₂₅:Eu²⁺/Dy³⁺ evidenciando uma cor azul/verde, situado no espectro do visível com o comprimento de onda na ordem dos 495nm e com uma emissão de 20h. Estes tipos de fósforos tornam-se particularmente interessantes devido à sua capacidade de emissão durante longos períodos de tempo, perspetivando-se como um material com diversas possíveis aplicações tais como em sinais luminosos e de segurança, e em decoração [5].

Durante anos, diversos grupos de investigação dedicaram-se à descoberta das melhores estequiometrias e dos melhores reagentes de forma a otimizar não só a intensidade como também o tempo de emissão dos fósforos. Deste modo, surgem diversas estequiometrias (MXnO₄, MSiO₃, MS, ...) com constituintes principais (M) tais como, Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Estrôncio (Sr), e dopantes de iões metálicos de terras raras (Eu³⁺, Eu²⁺, Ce³⁺, Tb³⁺, Sm³⁺, Pr³⁺, Dy³⁺, Er³⁺, Tm³⁺, Nd³⁺) ou de metais de transição (V³⁺, Cu²⁺, Mn²⁺, Ti⁴⁺, Sn²⁺, Co²⁺, Bi³⁺ ou Pb²⁺) [6].

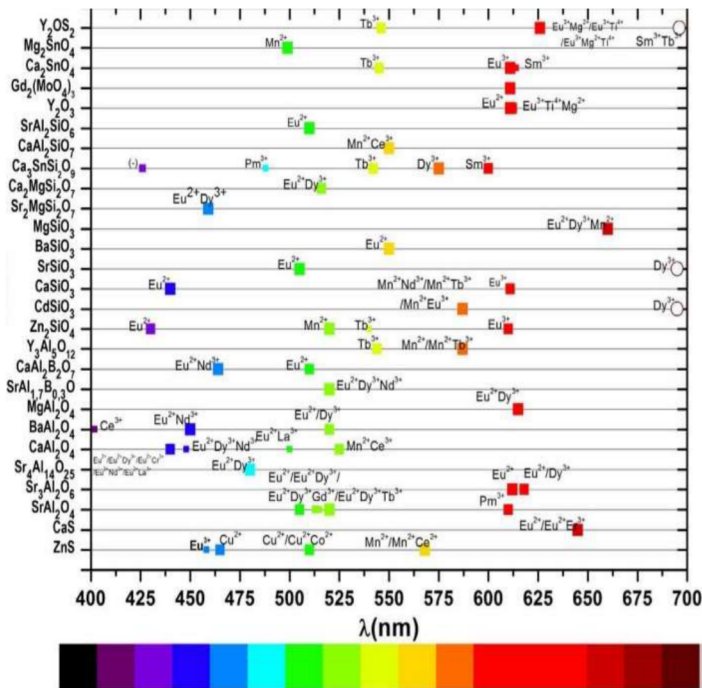


Figura 1- Diferentes composições químicas de pigmentos fosforescentes. (R.E. Rojas-Hernandez et al.) [7]

C. Aluminatos de Estrôncio

No ponto anterior abordou-se os diferentes tipos de fósforo e a sua evolução ao longo dos tempos. Após a descoberta em 1996 do SrAl₂O₄: Eu²⁺ + Dy³⁺ + de Matsuzawa et al., o SrAl₂O₄ foi dopado principalmente com európio e co-dopado com disprósio para obter um material de duração longa e persistente [4].

Com o aprofundar dos conhecimentos e evolução dos fósforos, o aluminato de estrôncio destacou-se dos demais pigmentos pelas suas características fosforescentes persistentes e duradouras, e pela excelente intensidade de brilho.

De um modo geral, a síntese de fósforos pode ser feita por diferentes métodos químicos: Sol-gel, combustão hidrotermal, microemulções ou estado sólido, sendo esta última a mais usada a escala industrial e com maior eficiência. Este tipo de síntese usa os compostos em estado sólido que são posteriormente expostos a altas temperaturas, que podem variar entre 1000^o a 1700^o C durante um determinado período de tempo [3].

II. PROCEDIMENTO

A preparação de fósforos foi levada a cabo através de síntese em estado sólido, usando na sua composição os seguintes reagentes: carbonato de estrôncio, óxido de alumínio (III), óxido de európio (III), óxido de disprósio (III) e ácido bórico.

A. Síntese de fósforos

Após a pesagem de determinadas quantidades destes reagentes, estes foram colocados num moinho planetário de modo a favorecer a homogeneidade dos compostos.

O material resultante foi colocado num cadinho e introduzido num forno para ser sujeito a um tratamento térmico que pode variar entre 2 a 10 horas, a uma temperatura entre 1000^o e 1700^o C sob atmosfera redutora. Por fim, o produto obtido foi novamente colocado no moinho de forma a reduzir e homogeneizar o tamanho das partículas.

III. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A síntese de fósforos foi realizada em laboratório com o auxílio de um forno de altas temperaturas da Termolab e de um moinho planetário da Gravimetria.

Tal como mencionado anteriormente de entre o variado leque de fósforos existentes na literatura foi escolhido os baseados em aluminato de estrôncio dopado com európio e disprósio ($Sr_xAl_nO_m: Eu^{2+}, Dy^{3+}$), tendo em conta que são os descritos como os que possuem maior duração de emissão e melhor intensidade de brilho comparativamente aos já existentes.

Começou-se por replicar um primeiro método de síntese descrito por Zhi Chen et al [8]. Nesta, e na maior parte das sínteses de fósforos baseados em aluminato de estrôncio, os componentes usados foram, o carbonato de estrôncio e o óxido de alumínio como base, o ácido bórico como ligante (do inglês "fluxing agent") entre todos os reagentes, o óxido de európio (III) e o óxido de disprósio (III) como dopantes. Estes últimos têm como função estimular a reação de forma a intensificar os seus efeitos. O európio (III) tende a colorar o produto mediante a estequiometria adotada. O disprósio funciona como co-ativador do európio intensificando o brilho e tempo de emissão do fósforo.

A primeira síntese testada foi com a estequiometria $SrAl_2O_4:Eu^{2+},Dy^{3+}$ que corresponde a uma cor amarelo/esverdeado. Escolheu-se esta em primeiro lugar porque é também a cor mais intensa e a que os nossos olhos são mais sensíveis. Nesta síntese testou-se o tempo de reação de 3 horas a uma temperatura de 1350^o C [8].

Posto isto, repetiu-se a mesma reação, mas foi aumentado o tempo de exposição à temperatura para 10 horas. Como resultado, foi obtido uma vez mais um pó com emissão de luz amarelo/esverdeada, um pouco mais intensa e com uma melhoria substancial na duração da emissão.

Após respetivas reproduções das sínteses anteriores, passou-se a testar uma nova estequiometria, que é descrita na literatura como a correspondente a uma cor azulada $Sr_4Al_{14}O_{25}:Eu^{2+}, Dy^{3+}$. Após se mudarem as quantidades de reagentes pesados de acordo com a estequiometria pretendida, o produto foi exposto a 1350 °C durante 5 horas. Como resultado obteve-se um pó, semelhante ao resultante nas sínteses anteriores, mas desta vez com emissão de luz azulada.

Com o intuito de aumentar a intensidade do brilho deste último fósforo sintetizado, foi adicionado à reação uma determinada quantidade de óxido de prata (I) que é descrito na literatura como responsável por um aumento do brilho obtido. O resultado foi de encontro ao esperado na medida em que foi obtido uma pequena melhoria na intensidade do brilho deste fósforo azul.

Ainda numa tentativa de testar as diferentes estequiometrias, testou-se o $Sr_2Al_3O_6:Eu^{2+}, Dy^{3+}$ com o intuito de conseguir uma cor vermelha. O produto obtido desta síntese foi um pó semelhante aos anteriormente conseguidos. No entanto quando excitado com a lâmpada UV foi observado uma cor avermelhada, mas com apenas características fluorescentes, ou seja, quando é extinta a fonte de excitação a cor vermelha desaparece. Em suma, com esta síntese apenas se conseguiu pigmentos avermelhados fluorescentes o que não é o objetivo. No entanto, baseando-se na literatura disponível o óxido de cromo (III) é apontado como um componente que quando adicionado à composição dos fósforos poderá originar pigmentos fosforescentes vermelhos. Posto isto, foi testado uma síntese em tudo semelhante às testadas anteriormente para obter o pigmento azul, mas desta vez adicionando uma pequena porção de óxido de cromo (III).

Neste processo, serão utilizados três dopantes ao invés de apenas dois como nas reações anteriores. A fórmula química final será $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}; \text{Dy}^{3+}; \text{Cr}^{3+}$. Neste caso específico o óxido de cromo (III) atuará como ativador juntamente com o európio.

Posto isto, testou-se diferentes estequiometrias usando uma determinada quantidade de óxido de cromo (III) e variando as temperaturas a que o produto foi exposto, bem como o tempo de exposição.

O resultado esperado não foi o previsto, visto que se obteve fosforescência amarela/esverdeada ao invés do vermelho que era esperado.

A. Análise estatística ANOVA

Tendo já estabelecido anteriormente as melhores condições reacionais para obter a cor amarelo/esverdeada e o azul, selecionou-se uma delas e procedeu-se à sua otimização. Para compreender quais são os fatores que mais afetam a intensidade e a duração da emissão por parte dos pigmentos fosforescentes recorreu-se a um software denominado de *Unscrambler*.

Neste caso específico foi escolhido analisar de entre três variáveis (a percentagem de ácido bórico, a temperatura e o tempo reacional) qual ou quais afetam mais significativamente os pigmentos sintetizados. De entre as sínteses prévias que foram realizadas, elegeu-se para realizar esta análise a estequiometria correspondente à cor azul, a $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$. Este foi o fósforo escolhido, pois já se tinha obtido bons resultados anteriormente e é uma das alternativas mais viáveis ao já conhecido, e mais usado, fósforo de emissão amarelo/esverdeada.

Devido à complexidade deste estudo, uma vez que há associação de diferentes variáveis (ácido bórico, temperatura e tempo) recorreu-se então ao *Unscrambler* de modo a obter o esquema de sínteses a realizar.

A Tabela 1 especifica as variáveis e valores estudados para cada uma.

Tabela 1 – Valores da percentagem de ácido bórico, temperatura e tempo estudados.

Variáveis	Valores estudados	
% Ácido bórico	20	50
Temperatura (° C)	1100	1500
Tempo (h)	3	10

Tendo em conta as variáveis em estudo e os respetivos valores estabelecidos o programa definiu um total de 6 sínteses a realizar e também dois pontos centrais (a negrito), apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Conjunto de sínteses a realizar.

	$\text{H}_3\text{BO}_3(\%)$	Temperatura (°C)	tempo(h)
Síntese 1	20	1100	10
Síntese 2	20	1500	3
Síntese 3	50	1100	3
Síntese 4	50	1500	10
Síntese 5	35	1300	6.5
Síntese 6	35	1300	6.5

Os valores escolhidos para cada uma das variáveis em análise foram selecionados de acordo com os resultados obtidos em sínteses prévias. Após a realização de todas as sínteses planeadas e de forma a poder quantificar numericamente os resultados, no que diz respeito à intensidade do brilho, à duração da emissão e à cor obtida, foi estabelecida a seguinte escala presente na Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de classificações dos resultados obtidos.

0	Não obteve resultados
1	Obteve resultados fora do contexto
2	Alcançou fraco resultado
3	Alcançou um médio resultado
4	Alcançou um bom resultado
5	Alcançou um excelente resultado

As classificações foram dadas de acordo com a observação do pigmento a olho nu. O tempo de emissão foi quantificado após 5 minutos de exposição numa lâmpada de luz ultravioleta, sendo apresentados os resultados finais na Tabela 4.

Tabela 1- Variáveis com respectivos valores e categorias avaliativas.

	Variáveis com os respectivos valores			Categorias avaliativas de cada experiência		
	Temperatura (°C)	H ₃ BO ₃ (%)	tempo(h)	Intensidade	Tempo de emissão	Cor
Síntese 1	1100	20	10	0	0	0
Síntese 2	1500	20	3	4	2	1
Síntese 3	1100	50	3	0	0	0
Síntese 4	1500	50	10	5	4	3
Síntese 5	1300	35	6,5	2	3	2
Síntese 6	1300	35	6,5	3	2	2

Os valores obtidos foram sujeitos a uma análise de variância (ANOVA). A ANOVA permite analisar se um dado fator independente tem algum efeito significativo numa dada variável dependente.

Os resultados obtidos são apresentados em tabelas com os valores estatísticos onde se pode concluir qual das variáveis tem influência mais significativa no nosso resultado e também foi obtido superfícies de resposta onde se pode ver melhor esse resultado. Com este programa foi possível dividir os resultados em três categorias. Na primeira pode-se observar quais são as variáveis que mais influenciam a cor obtida após a reação, na segunda categoria pode-se observar a que mais influência a intensidade de brilho obtido e na terceira pode-se concluir quais as que influenciam mais significativamente a duração da emissão dos fósforos sintetizados.

1) Cor

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos para a influência da percentagem de ácido bórico, da temperatura e do tempo na cor dos pigmentos.

Pela análise da tabela pode-se concluir que a temperatura é a que tem um efeito mais significativo na cor obtida uma vez que apresenta o maior de F-ratio (6) do mesmo modo que o valor de p-value (0.134) é inferior aos valores correspondentes à percentagem de ácido bórico e ao tempo de reação. As outras duas variáveis têm um efeito pouco significativo.

Tabela 5 – ANOVA para a análise dos efeitos das variáveis estudadas na cor obtida

	SS	DF	MS	F-ratio	P-value	B-coefficients	STDev.
Model	6	3	2	3	0,2599		
Error	1,333	2	0,667				
Adjusted Total	7,333	5	1,467				
Variable							
Intercept	10,667	1	10,667	16	0,0572	1,333	0,333
T(°C)(A=BC)	4	1	4	6	0,134	5,00E-03	2,04E-03
Boric Acid (%) (B=AC)	1	1	1	1,5	0,3453	3,33E-02	2,72E-02
t (h) (C=AB)	1	1	1	1,5	0,3453	0,143	0,117
Lack of Fit							
Lack of Fit	1,333	1	1,333	m	0		
Pure Error	0	1	0				
Total Error	1,333	2	0,667				

A Figura 3 mostra a superfície de resposta para a cor do fósforo onde está representada a percentagem de ácido bórico em função da temperatura. Pode-se observar que temperaturas mais elevadas e percentagens de ácido bórico superiores favorecem o aparecimento da cor pretendida.

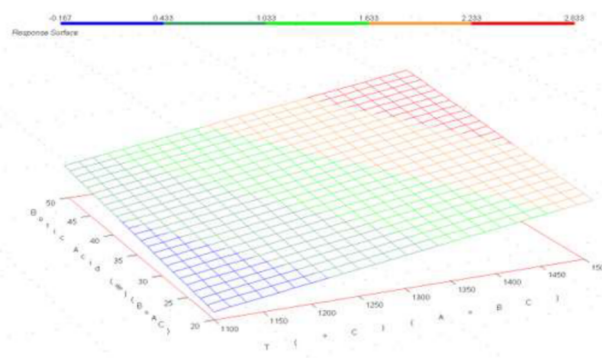


Figura 3 - Superfície de resposta obtida para o efeito da percentagem ácido bórico vs temperatura na cor obtida.

2) Intensidade de Brilho

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para a influência da percentagem de ácido bórico, da temperatura e do tempo na intensidade do brilho dos fósforos obtidos. Pela análise da tabela foi possível concluir que a temperatura é, mais uma vez, a que tem um efeito mais significativo na intensidade de brilho obtida uma vez que apresenta o maior de F-ratio (69.429) do mesmo modo que o valor de p-value (0.0141) é inferior aos valores correspondentes à percentagem de ácido bórico e ao tempo de reação. As outras duas variáveis têm um efeito pouco significativo.

Tabela 6 - ANOVA para a análise dos efeitos das variáveis estudadas na intensidade de brilho.

	SS	DF	MS	F-ratio	P-value	B-coefficients	STDerr.
Model	20,75	3	6,917	23,714	0,0407		
Error	0,583	2	0,292				
Adjusted Total	21,333	5	4,267				
Variable							
Intercept	32,667	1	32,667	112	0,0088	2,333	0,22
T(°C)(A=BC)	20,25	1	20,25	69,429	0,0141	1,13E-02	1,35E-03
Boric Acid (%)(B=AC)	0,25	1	0,25	0,857	0,4523	1,67E-02	1,80E-02
t (h)(C=AB)	0,25	1	0,25	0,857	0,4523	7,14E-02	7,72E-02
Lack of Fit							
Lack of Fit	8,33E-02	1	8,33E-02	0,167	0,7532		
Pure Error	0,5	1	0,5				
Total Error	0,583	2	0,292				

A Figura 4 mostra a superfície de resposta para a intensidade do brilho onde está representada a percentagem de ácido bórico em função da temperatura. Pode-se observar que a maior intensidade de brilho é obtida a temperaturas mais elevadas.

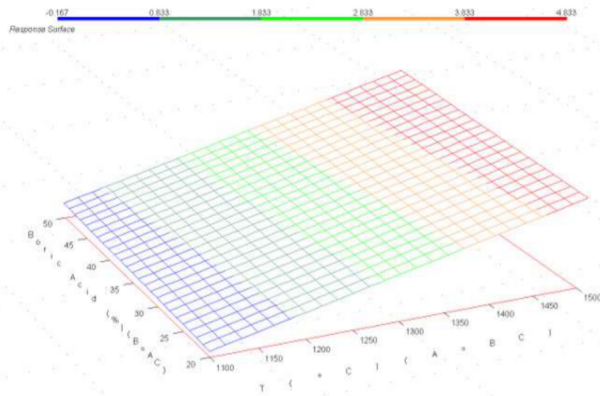


Figura 4 - Superfície de resposta obtida para o efeito da percentagem ácido bórico vs temperatura na intensidade de brilho.

3) Tempo de emissão

Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos para a influência da percentagem de ácido bórico, da temperatura e do tempo na duração da emissão dos fósforos obtidos.

Pela análise da tabela foi possível concluir que a temperatura é, mais uma vez, a que tem um efeito mais significativo no tempo de emissão obtido uma vez que apresenta o maior de

F-ratio (9.818) do mesmo modo que o valor de p-value (0.0885) é inferior aos valores correspondentes à percentagem de ácido bórico e ao tempo de reação. As outras duas variáveis têm um efeito pouco significativo.

Tabela 7 - ANOVA para a análise dos efeitos das variáveis estudadas no tempo de emissão do fósforo.

	SS	DF	MS	F-ratio	P-value	B-coefficients	STDerr.
Model	11	3	3,667	4	0,2064		
Error	1,833	2	0,917				
Adjusted Total	12,833	5	2,567				
Variable							
Intercept	20,167	1	20,167	22	0,0426	1,833	0,391
T(°C)(A=BC)	9	1	9	9,818	0,0885	7,50E-03	2,39E-03
Boric Acid (%)(B=AC)	1	1	1	1,091	0,4059	3,33E-02	3,19E-02
t (h)(C=AB)	1	1	1	1,091	0,4059	0,143	0,137
Lack of Fit							
Lack of Fit	1,333	1	1,333	2,667	0,3498		
Pure Error	0,5	1	0,5				
Total Error	1,833	2	0,917				

A Figura 5 mostra a superfície de resposta para a duração da emissão onde está representada a percentagem de ácido bórico em função da temperatura. Pode-se observar o maior tempo de duração da emissão por parte do fósforo é obtido a temperaturas e percentagens de ácido bórico elevadas.

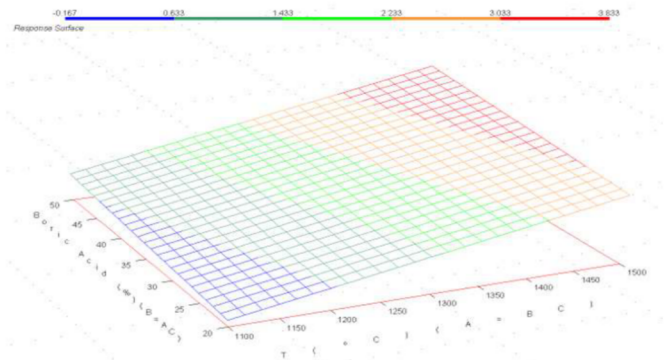


Figura 5- Superfície de resposta obtida para o efeito da percentagem ácido bórico vs temperatura no tempo de emissão do fósforo.

Em resumo conclui-se com este estudo que a temperatura é o fator que mais influencia a cor, a intensidade de brilho e a duração da emissão dos fósforos. De notar que a duração da emissão dos fósforos foi feita a olho nu, recorrendo a uma lâmpada de radiação ultravioleta como fonte de excitação.

O valor máximo de duração da emissão observado foi de 50 minutos para a síntese 4. No entanto este valor pode não corresponder totalmente à realidade visto não se possuir ainda o material adequado para se efetuar a medição com mais eficiência.

B. Análise da intensidade dos fósforos

De forma a compreender melhor em que comprimento de onda os fósforos se situavam, bem como para ter uma melhor percepção da intensidade luminosa emitida, utilizou-se um espectrofluorímetro (Fluoromax 4 da HORIBA). Os resultados apresentados no Gráfico 1, mostram que a síntese 4 é a que apresenta uma maior intensidade de luz emitida enquanto que a síntese 1 e 3 praticamente não emitem qualquer luz. Estes resultados vão de encontro aos obtidos a olho nu.

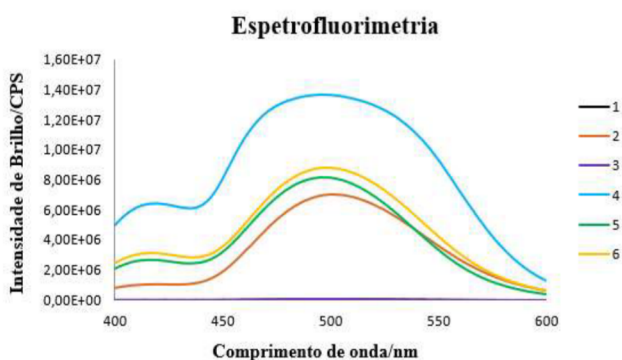


Gráfico 1 - Análise do comprimento de onda e intensidade de brilho.

IV. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Atualmente a madeira surge como um material de excelente qualidade na área da construção tendo um amplo campo de aplicação tanto em estruturas como em acabamentos. A madeira alia um agradável aspeto visual com um bom desempenho estrutural, boa resistência e durabilidade, afirmando-se como uma excelente escolha face a outros materiais.

Foi possível obter diferentes tipos de fósforos de longa duração. Embora nem todos atingissem o objetivo esperado

foram essenciais para aprender de que forma era possível melhorar futuras sínteses. Conclui-se que o aluminato de estrôncio dopado com európio e disprósio se afigura como o melhor fósforo devido à sua longa persistência ao longo do tempo e pelo brilho intenso.

Como trabalho futuro, deve continuar a ser feita a otimização das sínteses dos fósforos de modo a atingir o tempo de duração da emissão no escuro pretendido. Deve também ser feita a caracterização dos pigmentos sintetizados.

V. AGRADECIMENTOS

Queria prestar um agradecimento ao Professor Doutor Joaquim Carlos Gomes Esteves da Silva e ao Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território pela oportunidade concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Marques Luís Eduardo Menezes Marinho - O papel da madeira na sustentabilidade da construção. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — especialização em Construções Cívicas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto 2007/2008.
- [2] 2008 Projeto I&DT – Ferreira Martins & Fos, SA v.0 - 08/09/2016.
- [3] Rocío Estefanía Rojas Hernández - Diseño y síntesis de materiales nanoestructurados basados en aluminatos de estroncio com propiedades fotoluminiscentes. Tesis doctoral– Universidad Politécnica de Madrid – 2015.
- [4] Hom Nath Luitel - Preparation and Properties of Long Persistent Sr₄Al₁₄O₂₅ Phosphors Activated by Rare Earth Metal Ions. A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Philosophy in Applied Chemistry, Saga University - March 2010.
- [5] T. Matsuzawa, Y. Aoki, N. Takeuchi, and Y. Murayama, "A New Long Phosphorescent Phosphor with High Brightness, SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺" - Journal of The Electrochemical Society, vol. 143, no. 8, p. 2670, 1996.
- [6] Hindawi Publishing Corporation, Journal of Materials, Volume 2013, Article ID 613090 - Giant Improvement on the Afterglow of Sr₄Al₁₄O₂₅:Eu²⁺, Dy³⁺ Phosphor by Systematic Investigation on Various Parameters.
- [7] Rocío Estefanía Rojas-Hernandez et al. - Long lasting phosphors: SrAl₂O₄: Eu, Dy as the most studied material - Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 (2018) 2759–2770.
- [8] Zhi Chen et al. - Warm-toned, color-tunable, and highly emissive long lasting phosphorescent -Journal of Luminescence.