

Estudos reológicos e de blindagem eletromagnética de tinta acrílica comercial modificada com goma xantana e negro de fumo

Rheological and electromagnetic shielding studies of commercial acrylic paint modification with xanthan gum and carbon black

Estudios de reología y blindaje electromagnética de pintura acrílica comercial modificada con goma xantana y negro de humo

Recebido: 22/11/2022 | Revisado: 28/11/2022 | Aceitado: 30/11/2022 | Publicado: 08/12/2022

Alessandro Alves de Oliveira Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8999-6606>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: alealves.aj@gmail.com

Ana Carolina Saraiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5072-235X>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: anacarolysaraiva@gmail.com

Monica Cristina Celestino dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-00002-4520-7625>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: monica.uezo@gmail.com

Alex da Silva Sirqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-7512>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: alex.sirqueira@uerj.br

Resumo

Neste trabalho foram avaliadas as alterações no comportamento reológico e na capacidade absorvedora da radiação eletromagnética de tinta acrílica comercial modificada com goma xantana (GX) e negro de fumo condutor. A metodologia do planejamento fatorial de experimentos foi utilizada em dois níveis experimentais para GX e negro de fumo para otimização do estudo. O modelo reológico de Herschel-Bulkley foi empregado para determinação dos principais parâmetros reológicos. A GX exerceu maior influência na tensão limite de escoamento (τ_0) em relação ao negro de fumo. As variações nos valores de τ_0 foram de 1000 % entre as formulações estudadas. Os resultados de blindagem eletromagnética confirmaram a melhor dispersão do negro de fumo, em formulações com baixas concentrações de goma xantana. As tintas aditivadas aumentam a energia de ativação e as constantes C1 e C2 da lei WLF para o ensaio de superposição tempo-temperatura. O ensaio de tixotropia, realizado pela metodologia de três intervalos de deformação, corrobora com os valores obtidos da tensão limite de escoamento. A reestruturação da tinta é mais pronunciada em baixa concentração de GX.

Palavras-chave: Reologia; Blindagem eletromagnética; Polímeros; Goma xantana.

Abstract

In this research, the changes in the rheological behavior and in the electromagnetic shielding of commercial acrylic paint modified with xanthan gum (GX) and conductive carbon black were evaluated. The factorial design methodology of experiments was used in two experimental levels for GX and carbon black for optimization of the study. The Herschel-Bulkley rheological model was used to determine the main rheological parameters. GX exerted greater influence on the yield strength (τ_0) in relation to carbon black. Variations in τ_0 values were 1000% between the studied formulations. Electromagnetic shielding results confirmed better dispersion of carbon black in formulations with low concentrations of xanthan gum. The additive inks increase the activation energy and the constants C1 and C2 of the WLF law for the time-temperature superposition test. The thixotropy test, carried out using the methodology of three strain intervals, corroborates the values obtained for the ultimate yield stress. The paint restructuring is more pronounced at low GX concentration.

Keywords: Rheology; Electromagnetic shielding; Polymers; Xanthan gum.

Resumen

En este trabajo se evaluaron las alteraciones en el comportamiento reológico y en la capacidad de absorción de radiación electromagnética de pinturas acrílicas comerciales modificadas con goma xantana (GX) y negro de carbón conductor. Se utilizó la metodología de diseño factorial de experimentos en dos niveles experimentales para GX y negro de humo para la optimización del estudio. Se utilizó el modelo reológico de Herschel-Bulkley para determinar los principales parámetros reológicos. GX ejerció mayor influencia en el límite elástico (τ_0) en relación al negro de carbón. Las variaciones en los valores de τ_0 fueron del 1000% entre las formulaciones estudiadas. Los resultados del blindaje electromagnético confirmaron una mejor dispersión del negro de humo en formulaciones con bajas concentraciones de goma xantana. Las tintas aditivas aumentan la energía de activación y las constantes C1 y C2 de la ley WLF para el ensayo de superposición tiempo-temperatura. El ensayo de tixotropía, realizado mediante la metodología de tres intervalos de deformación, corrobora los valores obtenidos para el límite elástico último. La reestructuración de la tinta es más pronunciada a una concentración baja de GX.

Palabras clave: Reología; Blindaje electromagnético; Polímeros; Goma Xantana.

1. Introdução

Os revestimentos poliméricos são essenciais para proteção e longevidade de materiais expostos ao meio ambiente, sendo as tintas amplamente utilizadas para este fim. As propriedades finais das tintas podem ser ajustadas em função da aplicação final, as principais modificações são no peso molecular e nos aditivos utilizados nas formulações (Pires Neto, et.al. 2019; Amorim, et. al., 2021).

Dentre os vários tipos de tintas comerciais existentes, as acrílicas são as mais utilizadas, pois tem boa resistência a intempéries e são de baixo custo. As tintas acrílicas comerciais são formadas geralmente por duas partes, uma sólida e outra líquida volátil. A parte sólida, forma película polimérica aderente às superfícies pintadas (metálica, cerâmica, madeira e plástica). Esta fase é composta por polímero acrílico, pigmentos, corantes, cargas e outros aditivos sólidos. A fase líquida volátil é composta por: água, solventes orgânicos, desengraxantes, dispersantes, secantes, emulsificantes, antiespumantes, coalescentes e espessantes. A tinta acrílica comercial apresenta composição básica de 24 a 26% de pigmentos, 29 a 31% de veículo sólido (com total de sólidos de 44-56%), material volátil correspondente aos solventes (diluentes) de 44 a 46% e aditivos voláteis em quantidades variadas (Fazenda, 2009).

As tintas acrílicas podem ser classificadas como fluidos viscosos, sendo a viscosidade final função das quantidades de solventes e aditivos sólidos. As tintas acrílicas também apresentam comportamento reológico de materiais tixotrópicos (Mewis & Wagner, 2009). Ou seja, são capazes de reestruturarem após a retirada de tensão.

O comportamento reológico de qualquer fluido viscoso é fortemente influenciado por sua composição química, massa molar, emulsificantes e cargas. As cargas são bastante empregadas em formulações de tintas para modificação do desempenho final do produto (Dannert, et. al., 2017; Ferreira, et. al., 2021).

A literatura científica reporta o uso de carga condutora em tintas para blindagem eletromagnética (Sirqueira, et. al. 2016; Qiu, Zhang & Wen, 2018, Abdolmajid et. al, 2022; Li et. al. 2022). Porém, a dispersão de aditivos sólidos em uma tinta comercial é complexa, e exige alta energia dispersiva, podendo ocorrer a quebrar das cadeias poliméricas, aglomeração de material sólido e evaporação da parte volátil. O que torna o produto final com desempenho inferior à tinta comercial original (Simon et al., 2017).

Sabe-se que a eficiência de mistura de polímeros é favorecida quando soluções de viscosidades similares são processadas (Siddique, Muhamad, & Ahmad, 2015; Sirqueira, Naccache, & Alcântara, 2018). O preparo de pré-misturas entre os materiais é uma alternativa para melhorar a eficiência de misturas poliméricas. Ao preparar uma pré-mistura entre os materiais é importante manter a viscosidade próxima para facilitar a dispersão.

Soluções de goma xantana possuem alta viscosidade em baixas concentrações, estabilidade em ampla faixa de temperatura, pH e concentração de sais. Por estas razões, a goma xantana tem sido empregada na indústria alimentícia e

petrolífera. A goma xantana é um biopolímero de elevada massa molar e inerte. Apesar do preço por unidade de massa ser mais elevado, o preço é menor quando comparado por unidade de viscosidade obtida (Reinoso, et. al. 2019).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento reológico e a blindagem eletromagnética provocada pela modificação de uma tinta acrílica comercial. A metodologia da adição de carga condutora em tinta acrílicas foi realizada pela pré-mistura de goma xantana com negro de fumo condutor. A eficiência de mistura foi avaliada pela capacidade de blindagem eletromagnética da tinta modificada. Os estudos foram conduzidos utilizando o planejamento fatorial de experimentos a fim de otimizar as variáveis de mistura.

2. Metodologia

2.1 Materiais

Os materiais utilizados nesta investigação foram: tinta acrílica comercial, produzida pela empresa Akzo Noble (pH = 9, volume de sólidos = 60 %, viscosidade = 95 UK, pigmento = dióxido de titânio e densidade = 1,26 g/cm³), negro de fumo condutor (XC72) fabricado pela empresa Cabot S/A e Goma Xantana fabricado pela Systemmund. Todos os materiais foram cedidos pelas empresas e utilizados sem nenhum tratamento prévio.

2.2 Método de preparo da mistura goma xantana (GX) / negro de fumo (NF)/ tinta acrílica

As concentrações das dispersões de goma xantana e negro de fumo estão na Tabela 1. As formulações utilizadas neste estudo seguiram a metodologia estatística do planejamento fatorial de experimentos 2². As concentrações nos níveis inferiores (-) apresentavam concentração de 2,5 % de NF, 0,1 % de GX. Nos níveis superiores (+) as concentrações eram de 5% de NF e 1 % de GX. O ponto central apresentava concentração de negro de fumo de 3,5 % e goma xanta de 0,5 %. Inicialmente, a solubilização da goma xantana foi realizada em água destilada, por 60 minutos, sob agitação magnética. A dispersão do negro fumo condutor na solução de goma xantana foi realizada com auxílio de misturador de alto cisalhamento, Ultraturrax, com velocidade de 15000 RPM. As condições de mistura foram: temperatura de 25 °C e tempo de dispersão de 15 minutos. Ao final a dispersão de GX/NF apresentou aspecto homogêneo. Após o preparo, as dispersões de GX/NF foram imediatamente, adicionadas à tinta acrílica comercial. O volume final de tinta acrílica utilizada manteve-se constante em 150 mL.

Tabela 1 - Formulação das tintas acrílicas aditivadas com negro de fumo e goma xantana.

Amostra	Negro de fumo (%)	Goma xantana (%)	Tinta acrílica (mL)
1	- (2,5)	- (0,1)	150
2	- (2,5)	+(1,0)	150
3	+ (5,0)	- (0,1)	150
4	+ (5,0)	+ (1,0)	150
5	0 (3,5)	0 (0,5)	150

Fonte: Autores.

2.3 Caracterização

As análises reológicas foram realizadas em reômetro rotacional (Anton Paar, marca ReolabQC), equipado com geometria couette e temperatura de 25 °C. A curva de fluxo foi obtida através do ensaio de varredura de deformação, 0 a 1000 s⁻¹. O tempo total de análise para cada ensaio foi de 2000 segundos.

O estudo de tixotropia em reômetro rotacional foi realizado construindo-se a curva de deformação em três intervalos de deformação (3ITT). Inicialmente, as amostras foram deformadas com taxa de cisalhamento de 0,25 s⁻¹ durante 30 segundos. Em seguida, foram cisalhadas por 60 segundos com taxa de cisalhamento de 200 s⁻¹. Posteriormente, retornou a taxa de

cisalhamento para $0,25 \text{ s}^{-1}$ durante 250 segundos. O ensaio foi realizado a temperatura constante de 25°C . A geometria utilizada foi do tipo couette.

Os testes de blindagem eletromagnética foram realizados em guia de ondas (Agilent). A avaliação da atenuação foi realizada em placas metálicas de aço 1020, pintadas com as tintas modificadas. A secagem foi realizada em estufa de aquecimento por 24 horas a 30°C . A espessura final da camada da tinta foi medida com auxílio de micrometro. A espessura média do revestimento foi de $0,049 \text{ mm}$, com desvio padrão médio de $0,014 \text{ mm}$. A variação percentual entre as médias foi inferior a 2%.

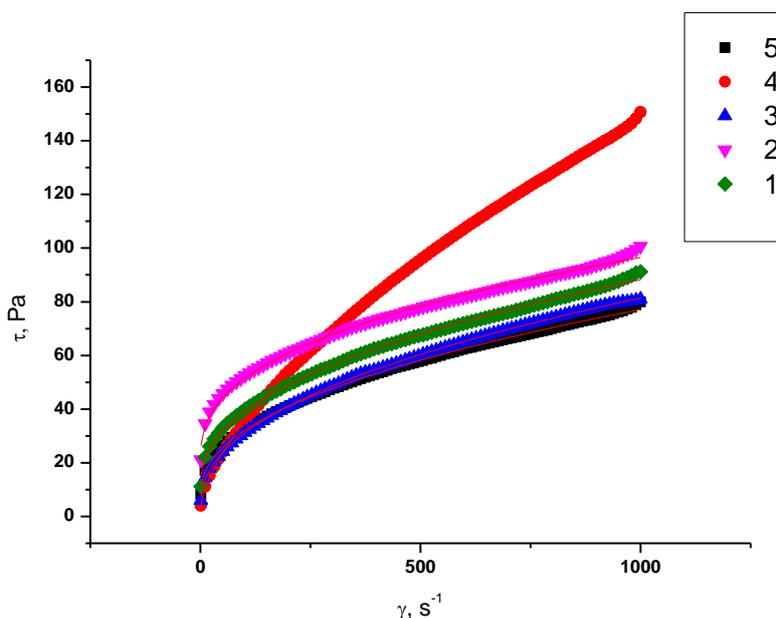
3. Resultados e Discussão

A curva de fluxo ou *flow curve* é a curva básica dos estudos reológicos em fluidos viscosos. A Figura 1 apresenta as curvas obtidas neste ensaio. O comportamento observado para a curva de fluxo das tintas é típico de materiais não Newtonianos, pois a tensão aumenta com a taxa de cisalhamento de forma não linear (Bird, lightfoot & Stewart, 2004).

De acordo com a Figura 1, ao analisar o comportamento das curvas das formulações 1 (-/-), 2 (-/+) e 5 (ponto central), nota-se que as curvas de fluxo são fortemente influenciadas em baixas concentrações de goma xantana (-). A adição de NF aumenta o valor da tensão cisalhante, comprovado ao comparar as amostra 1 e 2. A amostra 5 está no ponto central (0,0), ou seja, na concentração intermediária das concentrações estudadas, o valor da tensão de cisalhamento é inferior a mistura no menor nível de goma xantana e negro de fumo (-/-). A viscosidade atinge elevados valores dificultando a dispersão com negro de fumo. Pode-se concluir que ao aumentar o valor da GX não ocorre boa dispersão do negro de fumo na tinta, devido ao aumento demasiado na viscosidade final da dispersão (Potanin, 2019; Rodd, Dunstan, et.al., 2001).

Nota-se pela Figura 1 que a formulação no nível superior de concentração de goma xantana e negro de fumo (+,+) apresenta comportamento diferente das demais. Este comportamento pode ser atribuído à formação de um material mais estruturado, devido aos excessos de GX e negro de fumo na pré-mistura (Reinoso et al., 2019). Os materiais altamente estruturados dificultam a adição de novas partículas nas dispersões e tintas.

Figura 1- Curvas de fluxo para as formulações de tinta acrílica com GX e NF.



Fonte: Autores.

O formato da curva de fluxo obtida, Figura 1, para todas as amostras é característica de matérias que obedecem a lei das potências. Porém, o início não é na origem, ou seja, existe uma tensão limite de escoamento que impede o fluxo do material. Somente após vencer a tensão limite o escoamento inicia (Allal & Montfort, 1998). Para descrever o comportamento reológico das curvas de fluxo com tensão limite, foi utilizado o modelo reológico de Herschel-Bulkley (HB), Equação (1) (Bird, Lightfoot & Stewart, 2004).

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Onde: τ_0 = tensão limite (Pa); K = índice de pseudoplasticidade (Pa.sⁿ) e n = índice das potências.

Os resultados obtidos dos parâmetros reológicos do modelo HB são apresentados na Tabela 2. Os valores de R² para o modelo HB estão próximos a unidade, indicando boa adequação do modelo aos dados experimentais.

Os valores da tensão limite (τ_0) variaram de 2,9 a 21,7 Pa, aproximadamente 1000%. As diferenças nos valores de τ_0 podem ser atribuídas às modificações realizadas nas formulações estudadas. A tensão limite de escoamento é definida como o ponto de transição do comportamento de sólido para líquido. Estes fluidos foram inicialmente estudados por Bingham, sendo denominados elasto-viscoplásticos (A. da S. Sirqueira & Naccache, 2018). A amostra no nível superior (amostra 4) apresenta o maior valor de tensão limite, confirmando a formação de uma rede estruturada. A presença de interações na tinta dificulta o fluxo, e conseqüentemente a aplicabilidade do material. O índice de consistência (k) esta relacionado com a viscosidade do material. Nota-se que a adição da GX provoca aumento na viscosidade do material. Em altas concentrações de GX, o efeito é mais evidenciado no valor do índice das potências (n).

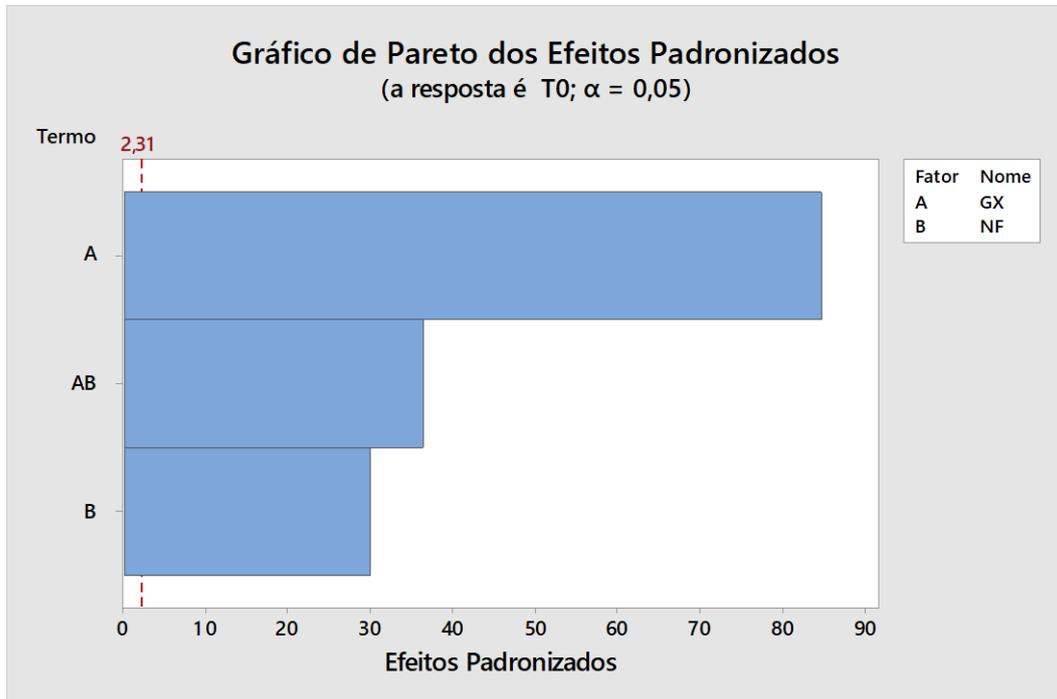
Tabela 2 - Resultados obtidos do modelo de Herschell-Bulkley das formulações aditivadas.

	τ_0 (Pa)		K (Pa.s ⁻ⁿ)		n		Estatística
	Valor	Desvio Padrão	Valor	Desvio Padrão	Valor	Desvio Padrão	R ²
1	8,547	0,541	2,745	0,147	0,466	0,007	0,998
2	2,951	0,226	3,606	0,026	0,652	0,002	0,999
3	4,026	0,237	1,284	0,067	0,457	0,002	0,999
4	21,749	1,114	14,652	0,398	0,402	0,010	0,996
5	11,564	0,791	1,543	0,236	0,445	0,008	0,997

Fonte: Autores.

A análise estatística para o valor da transição sólido-líquido foi realizada, tensão limite, Figura 2. O gráfico de Pareto foi construído com os valores das modificações, goma xantana e negro de fumo. A Figura 2 apresenta o gráfico de Pareto, caracterizado por colunas na vertical, que indicam a significância dos fatores de entrada do experimento. Neste estudo, o teste estatístico de *Student* foi utilizado para 5 graus de liberdades, e intervalo de confiança de 95% (Montgomery & Runger, 1999). A linha em vermelho no gráfico de Pareto em 2,31 determina a significância do experimento. Os resultados obtidos pela análise estatística, os fatores de entrada GX, NF e a interação entre GX/NF são estatisticamente significativas. Porém, a maior significância encontrada é para a adição de GX. Ou seja, o efeito do biopolímero na tensão limite de escoamento da tinta é superior ao do negro de fumo. Os maiores valores da tensão limite foram obtidos em baixas concentrações de GX. Blok (2023) estudou o efeito de diferentes espessantes em composição de maionese e observou o efeito da goma xantana na elevação dos parâmetros reológicos.

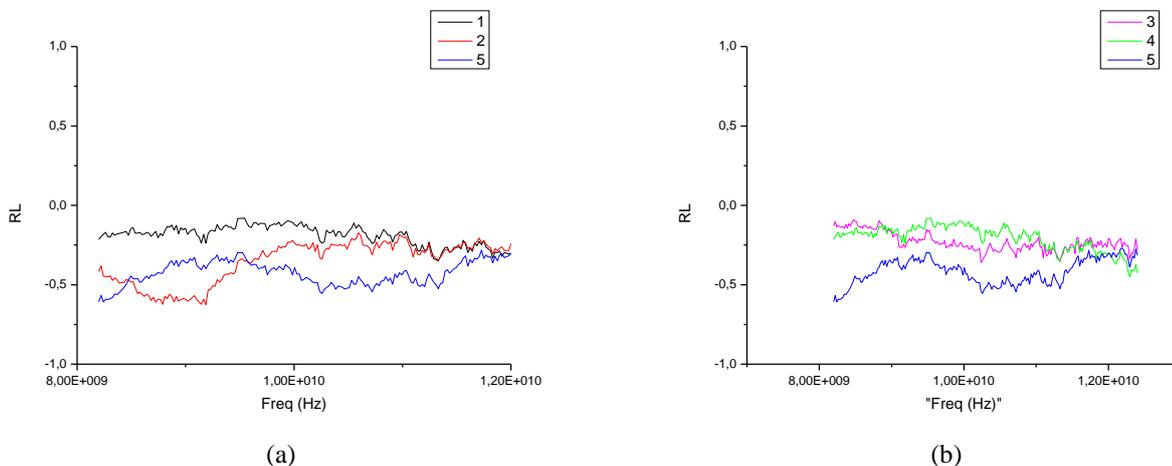
Figura 2 - Gráfico de Pareto para as variáveis de entrada goma xantana e negro de fumo.



Fonte: Autores.

A Figura 3 apresenta os resultados do estudo de blindagem eletromagnética. As formulações com concentração de GX de 0,1 % (1 e 2) e ponto central (conc. de 0,5 % de GX), estão ilustradas na Fig.3 (a). As maiores atenuações foram observadas para as amostras contendo 0,1 e 0,5 % de goma xantana, amostras 2 e 5, respectivamente. Pode-se atribuir este comportamento a melhor dispersão do negro de fumo na concentração de 0,1% de goma xantana. O excesso de goma xantana eleva demasiadamente a viscosidade final da pré-mistura, dificultando a dispersão. A formulação 2 apresentou o melhor efeito de blindagem eletromagnética na faixa do radar, devido ao maior teor de carga condutora. Pires Neto (2016) observou o efeito da adição de polipirrol em formulações de tinta epoxi, a mesma tendência na absorvidade da resina foi observada para a tinta acrílica comercial.

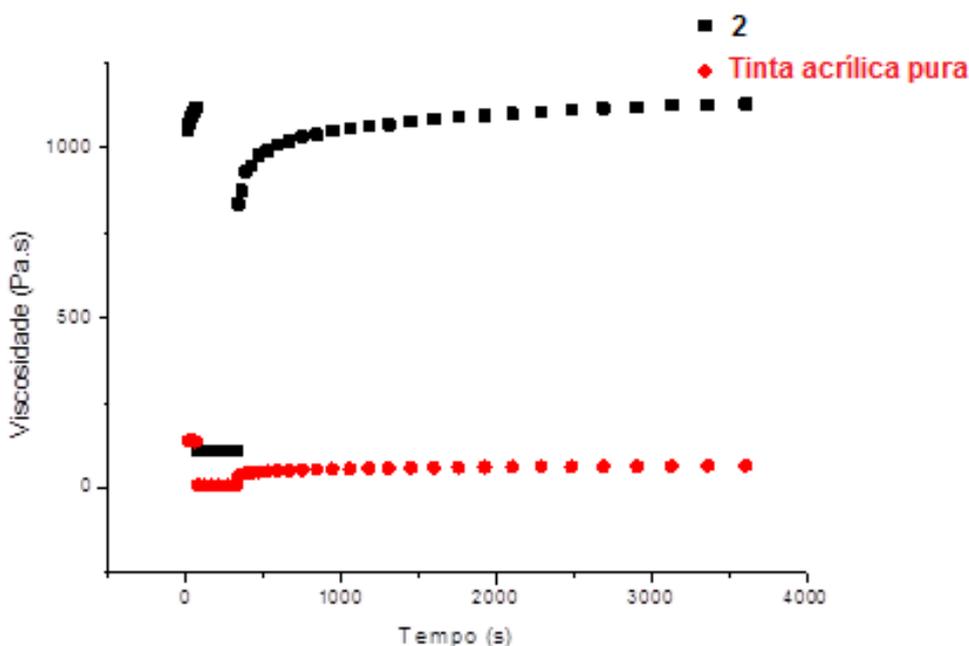
Figura 3 - Perda por reflexão para as amostras.



Fonte: Autores.

Os resultados dos ensaios reológicos de tixotropia são apresentados na Figura 4. A caracterização tixotrópica e a construção da curva mestre foram realizadas somente na tinta acrílica e na formulação 2. Ao observar o comportamento da viscosidade em baixas deformações (primeira etapa da curva), pode-se confirmar a interação da dispersão de GX/NF com a tinta acrílica (aumento do valor de viscosidade, na taxa de deformação de $0,25 \text{ s}^{-1}$). O valor da viscosidade da amostra 2 foi superior à tinta acrílica. A recuperação observada após o alto cisalhamento (60 s^{-1}) é maior para a tinta modificada. Por isso, a tinta aditivada ao ser aplicada na vertical escorre menos, melhorando o desempenho da final. A tinta acrílica comercial apresenta recuperação inferior ao valor inicial, o que caracteriza deformações irreversíveis na estrutura. Amorim (2021) estudou o efeito provocado pela adição de nano partículas e cargas condutoras em resina epoxi, a recuperação provocada pela estruturação da resina melhora a aplicabilidade da tinta.

Figura 4 - Curvas de deformação-reestruturação para a tinta acrílica e aditivada.



Fonte: Autores.

Usualmente, para construção da curva mestre, duas leis são muito utilizadas para descrever as funções de translação $\alpha(T_0, t_0) = a_T(T_i).t_i$: a lei William-Landry-Ferry (WLF) (eq.2) e a lei de Arrhenius (eq. 3), princípio da superposição tempo-temperatura. As equações 2 e 3, são os modelos matemáticos de WLF e Arrhenius, respectivamente.

$$\log a_T = - C_1 (T - T_0) / C_2 + (T - T_0) \quad (2)$$

$$\log a_T = 434,22 \cdot (E_a/8,34) \cdot (1/T - 1/T_0) \quad (3)$$

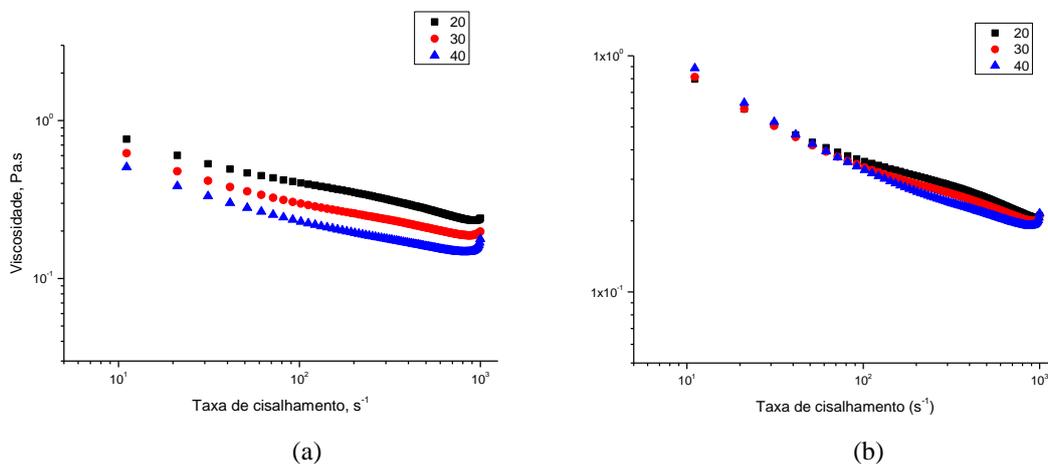
onde: C1 e C2 = coeficientes da lei WLF; E_a = energia de ativação de fluxo do material (kJ/mol.K)

O ajuste do modelo da lei de WLF para as curvas de viscosidade, eq (4), a temperatura de referência foi de 30°C , (T_0).

$$\eta = \eta(T_0) \cdot e^{\left[\frac{-C_1(T-T_0)}{C_2+(T-T_0)} \right]} \quad (4)$$

A Figura 5 apresenta o comportamento da viscosidade em diferentes temperaturas, 20, 30 e 40°C. Em todos os casos, nota-se redução da viscosidade aparente com o aumento da temperatura, porém, a maior variação observada ocorreu na tinta acrílica comercial sem aditivos. Não foi observado deslocamento acentuado da viscosidade na formulação 2.

Figura 5 - Comportamento da viscosidade em função da temperatura para a tinta pura (a) e tinta aditivada (b).



Fonte: Autores.

A Tabela 3 apresenta os valores das constantes das leis WLF e Arrhenius. A energia necessária para iniciar o fluxo é aproximadamente 67 % maior para a tinta aditivada. Este valor é explicado pela formação de rede estrutural que ocasiona no aumento da viscosidade do material (Martín-alfonso, et. al., 2018).

Tabela 3 - Valores das constantes das leis de WLF e Arrhenius.

Modelo		Tinta pura	Tinta aditivada
Arrhenius	Ea (kJ/mol.K)	27,25	45,32
	erro (%)	0,7	0,08
WLF	C1	6,22	8,97
	C2 (K)	175	254
	Erro (%)	1,00E-13	1,00E-08

Fonte: Autores.

4. Conclusão

A adição da pré-dispersão contendo goma xanta e negro de fumo melhora a dispersão do negro de fumo na tinta acrílica comercial.

A tensão limite de escoamento é fortemente influenciada pela presença de pequenas quantidades de goma xantana.

A amostra no menor nível do planejamento de experimentos apresentaram os melhores resultados de blindagem eletromagnética.

O ensaio tixotrópico confirmou os valores obtidos para tensão limite, utilizando o modelo de Herschell-Bulkley. A reestruturação da curva é mais efetiva com a pré-mistura, reduzindo o escoamento da tinta após aplicação.

A determinação das constantes da lei de WLF e a energia de ativação de fluxo comprovaram o efeito estruturante da dispersão GX/NF. Os valores do erro padrão foram baixos, confirmado a adequação do modelo utilizado com os dados experimentais.

A fim de melhor o desempenho na absorvidade da tinta nova metodologia de mistura com a goma xantana serão testadas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) E-026/200.019/2019 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- Abdolmajidi, M., Cheraghi, A., Joshaghani, A. & Mazaheri, H. Design (2022). Processing and evaluation of CuO, MgO and TiO₂ nano-coatings absorbing electromagnetic waves based on epoxy paint. *Nano-Structures & Nano-Objects*, Vol. 32, 100911.
- Amorim, A. A. P.; Oliveira, M. G.; Mancini, M. C.; Alex Da Silva Sirqueira. (2021). Rheological, emi and corrosion properties of epoxy coating with nanoparticle and conductive carbon black. *Sn Applied Sciences*, V. 3, P. 236-248.
- Allal, A., & Montfort, J. P. (1998). Emulsion models and rheology of filled polymers, *European polymer journal*, 34(3), 309-322.
- Bird, R. B., Stewart, W.E., Lightfoot, E. N. (2004). *Fenômenos de transporte* (2 ed). Editora LTC.
- Blok, A. E., Bolhuis, D. P., Arnaudov, L. N., Velikov, K.P. & Stieger, M. (2023). Influence of thickeners (microfibrillated cellulose, starch, xanthan gum) on rheological, tribological and sensory properties of low mayonnaises. *Food Hydrocolloids*, 136 (10), 108242.
- Dannert, R., Winter, H. H., Sanctuary, R., & Baller, J. (2017). Influence of suspension viscosity on Brownian relaxation of filler particles. *Rheologica acta*, 56, pages 615–622. <https://doi.org/10.1007/s00397-017-1019-y>
- Fazenda, J. M. R. (2009). *Tintas: Ciência e Tecnologia* (2 edição). Editora Blucher.
- Ferreira, I. P.; Sirqueira, A. S.; Santos, T. A.; Naccache, M. F. & Soares, B. G. (2021). Rheological Studies of SBS/EVA Blends modified with bio-based Cashew Nut Shell Liquid. *Journal of Elastomers and Plastics*, 3, 1-16.
- Li, L., Cui, Y., Zhang, Z., Tu, P., Gong, P. & Li, P. (2022). Preparation of Graphene/Fe₃O₄ composite varnish with excellent corrosion-resistant and electromagnetic shielding properties. *Ceramics International*, Vol. 46, 14, 22876-22882.
- Martín-alfonso, J. E., Cuadri, A. A., Berta, M., & Stading, M. (2018). Relation between concentration and shear-extensional rheology properties of xanthan and guar gum solutions. *Carbohydrate Polymers*, 181(August 2017), 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.057>
- Mewis, J., & Wagner, N. J. (2009). Thixotropy, *Advances In Colloid And Interface Science*, 148, 214–227. <https://doi.org/10.1016/J.Cis.2008.09.005>
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (1999). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (2° edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Pires Neto, J. F., Souto, L. F. C.; Silva, A. A., Barra, G. M. O., Naccache, M. F., Soares, B. G. & Sirqueira, A. S. (2019). Rheological Properties of Epoxy/Polypyrrole Coating and its Behavior as EMI Material. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, v. 26, p. 348-353.
- Potatin, A. (2019). Rheology of silica dispersions stabilized by polymers. *Colloids and Surfaces A*, 562(November), 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.11.020>.
- Qiu, M., Zhang, Y., & Wen, B. (2018). Facile synthesis of polyaniline nanostructures with effective electromagnetic interference shielding performance. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(12), 10437–10444.
- Reinoso, D., Martín-alfonso, M. J., Luckham, P. F., & Martínez-boza, F. J. (2019). Rheological characterisation of xanthan gum in brine solutions at high temperature. *Carbohydrate Polymers*, 203(June 2018), 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.034>
- Rodd, A. B., Dunstan, D. E., Ross-murphy, S. B., & Boger, D. V. (2001). Dependence of linear viscoelastic critical strain and stress values on extent of gelation for a thermally activated gelling system. *Rheologica Acta*, 40, 23–29.
- Siddique, B. M., Muhamad, I. I., & Ahmad, A. (2015). Effect of frying on the rheological and chemical properties of palm oil and its blends. *Journal of Food Science and Technology*, 52(March), 1444–1452. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1124-6>
- Simon, D. A., Bischoff, E., Buonocore, G. G., Cerruti, P., Rauti, M. G., Xia, H. & Mauler, R. S. (2017). Graphene-based masterbatch obtained via modified polyvinyl alcohol liquid-shear exfoliation and its application in enhanced polymer composites. *Materials and Design*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.08.032>
- Sirqueira, A. da S., & Naccache, M. F. (2018). Rheological studies of Herschel-Buckley model for epoxy coating with carbon black and nanoparticle. In *VIII Brazilian Conference on Rheology* (p. 1). São Leopoldo, RS: Unisinos.
- Sirqueira, A. da S., Teodoro Júnior, D., Coutinho, M. da S., Silva Neto, A. S. da, Silva, A. dos A., & Soares, B. G. (2016). Rheological behavior of acrylic paint blends based on polyaniline. *Polímeros*, 46, 17. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2178>
- Sirqueira, A. S., Naccache, M. F., & Alcântara, S. P. (2018). Desenvolvimento de nanocompósitos a base de poliamida e borracha nitrílica carboxilada compatibilizadas com polisilsesquioxano. In *XI Jornada de Ciência e Tecnologia UEZO* (p. 1). Rio de Janeiro.