

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

GUILHERME AGUIAR FEIJÃO

**ESTUDO REOLÓGICO DO EFEITO DE DIFERENTES ESPESSANTES NO
DESEMPENHO DE TINTAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2020

GUILHERME AGUIAR FEIJÃO

**ESTUDO REOLÓGICO DO EFEITO DE DIFERENTES ESPESSANTES NO
DESEMPENHO DE TINTAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais na Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Moreno Peres

LONDRINA
2020



TERMO DE APROVAÇÃO

GUILHERME AGUIAR FEIJÃO

ESTUDO REOLÓGICO DO EFEITO DE DIFERENTES ESPESSANTES NO DESEMPENHO DE TINTAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 01 de dezembro de 2020 como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr^a. Delia do Carmo Vieira
(UTFPR – DAEMA)

Prof. Dr. Fabio Cezar Ferreira
(UTFPR – DAQUI)

Prof^a. Dr. Fabiano Moreno Peres
(UTFPR – DAEMA)

Prof^a. Dr^a. Silvia Midori Higa

(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)
Coordenadora do Curso de Engenharia de Materiais

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me abençoado com saúde, disposição e coragem, e por sempre me cercar de pessoas do bem.

Aos meus pais, Conceição e Romero, e ao meu avô Plínio, por fazerem parte de todo meu crescimento, me apoiando e incentivando com muito amor para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Minha eterna gratidão.

Agradeço a minha amiga e namorada Fernanda, por todos os momentos de apoio e companheirismo.

Ao professor Dr. Fabiano Moreno Peres, um exemplo de pessoa e de profissional, deixo meu agradecimento por toda a orientação, paciência e disposição em ajudar durante a realização desse trabalho, e por todos os ensinamentos compartilhados durante a graduação.

Agradeço aos professores Dr^a. Delia do Carmo Vieira e Dr. Fabio Cezar Ferreira pela participação da banca de avaliação, e por todos os conhecimentos compartilhados durante a graduação.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante esse tempo de faculdade, em especial Rafael Prado, Matheus Candido e Vitor Garnica pela parceria em todos os anos em que moramos juntos.

Ao Filipe de Carvalho Bernardino pela ajuda e paciência durante a realização dos ensaios do trabalho.

A UTFPR-Londrina, em especial a todos os professores do curso de Engenharia de Materiais, por todo conhecimento, ensinamento e colaboração na minha formação.

RESUMO

FEIJÃO, G. **Estudo reológico do efeito de diferentes espessantes no desempenho de tintas**. 2020. 44f. Exame de qualificação do trabalho de conclusão de curso - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

A formulação das tintas tem como componentes resina, solvente, pigmento e aditivos. Os aditivos estão presentes nas tintas a fim de conferirem propriedades específicas, dentre elas as propriedades reológicas. Dentre os aditivos que são responsáveis pelas propriedades reológicas, destacam-se os espessantes. Os espessantes tem a função de controlar a viscosidade do sistema para fins de proporcionar certas características desejáveis para sua aplicação, como o bom nivelamento e evitar escorrimento. O presente trabalho teve como objeto de estudo amostras de tinta com espessante tipo emulsões alcalinas expansíveis modificadas hidrofobicamente (HASE), utilizado na Amostra 1 (0,70% HASE) e Amostra 2 (0,58% HASE), e espessante Carboximetilcelulose (CMC), contido na Amostra 3 (0,40% CMC) e Amostra 4 (0,92% CMC). As amostras foram submetidas a análises reológicas com auxílio de um reômetro e um teste laboratorial de escorrimento. Observou-se o comportamento *shear thinning* em todas as amostras de tinta, caracterizado pela diminuição da viscosidade em função do aumento do cisalhamento, sendo importante para a boa qualidade dela. As amostras com maiores quantidades de espessante apresentaram uma maior viscosidade em baixa taxa maior que as demais, o que pode estar associado as interações dos espessantes. Os dados obtidos pelo reômetro foram ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley e definidos seus parâmetros, sendo que a Amostra 1 apresentou um comportamento incomum. As amostras 2, 3 e 4 apresentaram bom ajuste de dados ao modelo matemático, com uma correlação maior que 0,95. Ao final, o teste de escorrimento laboratorial foi feito a partir de uma adaptação da norma ASTM D4400 para observar o escorrimento das tintas, sendo as Amostras 1 e 4 as que alcançaram as melhores características.

Palavras-chave: Tintas. Reologia. CMC. HASE. Escorrimento.

ABSTRACT

FEIJÃO, G. **Rheological study of the effect of different thickeners on the performance of paints.** 2020. 44f. Completion of course work (Bachelor in Materials Engineering) - Academic Department of Materials Engineering. Federal University of Technology Paraná. Londrina, 2020.

The formulation of the paints has as components resin, solvent, pigment, and additives. The additives are present in the paints to confer specific properties, among them the rheological properties. Among the additives that are responsible for the rheological properties, the thickeners stand out. Thickening agents have the function of controlling the viscosity of the system to provide certain desirable characteristics for its application, such as good leveling and no sagging. The present work was studied with hydrophobically modified alkaline expandable emulsions (HASE), used in Sample 1 (0.70% HASE) and Sample 2 (0.58% HASE), and carboxymethylcellulose thickener (CMC) contained in Sample 3 (0.40% CMC) and Sample 4 (0.92% CMC). The samples were subjected to rheological analysis with the aid of a rheometer and a laboratory runoff test. Shear thinning behavior was observed in all paint samples, characterized by a decrease in viscosity due to increased shear, which is important for its good quality. Samples with higher amounts of thickener showed higher viscosity at a lower rate than the others, which may be associated with thickener interactions. The data obtained by the rheometer were adjusted to the Herschel-Bulkley model and its parameters were defined, with Sample 1 showing an unusual behavior. Samples 2, 3 and 4 showed good data fit to the mathematical model, with a correlation greater than 0.95. At the end, the laboratory runoff test was done based on an adaptation of the ASTM D4400 standard to observe the runoff of the paints, with Samples 1 and 4 being the ones that achieved the best characteristics.

Keywords: Paints. Rheology. CMC. HASE. Sagging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mecanismo da formação da película da tinta.....	14
Figura 2: Estrutura do espessante HASE em contato com partículas do meio.	17
Figura 3: Mecanismo de espessamento de espessantes celulósicos.	18
Figura 4: Modelo de Newton para escoamento de fluidos.	18
Figura 5: Taxa de deformação na aplicação de tinta por pincel.	19
Figura 6: Perfil de fluidos independente do tempo.....	20
Figura 7: Perfil de fluidos dependente do tempo.....	21
Figura 8: Relação de viscosidade e taxa de cisalhamento para processos em tintas.....	23
Figura 9: Representação do mecanismo de shear thinning.....	24
Figura 10: Modelos para determinação da tensão de escoamento.	25
Figura 11: Fluxograma das atividades.....	26
Figura 12: Lâmina de aplicação para teste de escorrimento.	28
Figura 13: Lâmina de aplicação utilizada no teste.....	29
Figura 14: Curva de viscosidade.	30
Figura 15: Imagens das curvas de fluxo para as amostras de tintas.....	33
Figura 16: Imagens do teste de escorrimento para as amostras de tinta.	37
Figura 17: Esquema da tensão de cisalhamento gravitacional.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Identificação das amostras de tinta.	27
Tabela 2: Valores de viscosidade inicial e final.	30
Tabela 3: Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para amostras de tinta.	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1 Tintas	13
4.1.1 Histórico	13
4.1.2 Introdução às tintas	14
4.1.3 Composição das tintas	15
4.1.3.1 Espessantes.....	16
4.2 Fundamentos da Reologia	18
4.3 Fluidos estruturados	21
4.4 Reologia e desempenho de tintas	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS	26
5.1 Fluxograma	26
5.2 Materiais	26
5.3 Métodos	27
5.3.1 Ensaios no reômetro rotacional.....	27
5.3.2 Teste de escorrimento	28
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6.1 Ensaios de reometria	30
6.1.1 Análise da viscosidade	30
6.1.2 Curvas de fluxo.....	32
6.2 Teste de escorrimento	36
7 CONCLUSÕES	40
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

As tintas têm uma grande importância no desenvolvimento e evolução do mundo e do ser humano. As primeiras aparições se deram com os homens das cavernas em representações de caça e como um modo de comunicação, evoluiu para períodos clássicos em que eram utilizadas em pinturas e obras, até os tempos atuais, sendo aplicada como revestimento de proteção.

A formulação de uma tinta segue uma lista de componentes, que será composta por solventes, pigmentos, resina e aditivos. Cada um desses componentes será responsável por uma característica na tinta, e sua formulação em quantidades específicas bem como o entendimento das interações que ocorrem entre esses constituintes é de suma importância para que ela exerça sua correta função e atinja boas propriedades.

Os aditivos são componentes que são adicionados as tintas a fim de conferir algumas propriedades, tais como: resistência aos raios ultravioleta, facilidade na formação e secagem da película e modificação do comportamento reológico, de forma a proporcionar bom nivelamento e diminuição do escorrimento em superfícies inclinadas.

Os agentes reológicos exercem uma função fundamental na tinta a fim de controlar sua viscosidade e melhorar suas características de aplicação, evitando a formação de bolhas, controlando o nivelamento do filme e evitando escorrimento. Para que sejam controladas essas características, deve-se ter conhecimento das propriedades reológicas que serão associadas a um melhor desempenho da tinta.

Desta forma, o presente trabalho estudou os efeitos de diferentes agentes espessantes sobre as características reológicas de tintas acrílicas de base aquosa, com ênfase no desempenho em serviço da tinta.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a relação entre propriedades reológicas com requisitos de desempenho de uma tinta.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Verificar o efeito de diferentes espessantes e respectivas concentrações sobre as propriedades reológicas de uma tinta acrílica de base aquosa.
- Realizar ensaios de reometria para avaliação do comportamento reológico.
- Realizar teste de desempenho da tinta em laboratório.
- Relacionar as variáveis reológicas com o desempenho da tinta, visando característica de escorrimento.

3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o mercado de tintas é composto por uma diversidade de fabricantes e sobressai-se aquele que possui um produto de boa qualidade e desempenho.

Ao citar qualidade e desempenho de tintas, devem-se levar em conta boas características como a de nivelamento para uma formação de filme uniforme, resistência ao escorrimento para uma pintura sem marcas indesejadas. Para que essas características sejam atingidas, deve-se buscar o entendimento de reologia e sua relação com essas propriedades, que poderá ser o diferencial para atingir uma gama alta de mercado.

O estudo das propriedades reológicas da tinta é uma forma efetiva e objetiva para estimar seu desempenho em serviço, transformando-se em um recurso indispensável para avaliação dos diferentes agentes espessantes, visto que eles têm mecanismos de atuação distintos.

Assim, o presente trabalho tem como justificativa realizar medições reológicas em tintas com diferentes tipos e quantidades de espessantes, buscando relacioná-las com o desempenho e qualidade final de uma tinta.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Tintas

4.1.1 Histórico

As tintas e revestimentos têm um grande papel no desenvolvimento cultural da Humanidade.

A história da tinta tem seu começo há cerca de 25 mil anos com os homens primatas, quando eles pintavam as rochas das cavernas como forma de comunicação sobre os animais que caçavam. Os pigmentos utilizados nesta época eram naturais, a base de óxido de ferro e manganês. Esses pigmentos eram moídos até virarem um pó fino e então misturados com água, osso de animal, gordura animal, clara de ovo para formar as tintas (LAMBOURNE, 1987).

Com a evolução dos povos, novas descobertas foram feitas. Os egípcios utilizavam a pintura para artes decorativas em sarcófagos ou para papiros manuscritos, período em que desenvolveram os primeiros pigmentos sintéticos. No período clássico, gregos e romanos utilizaram das descobertas egípcias e inovaram outros pigmentos artificiais como zarcão, óxido de chumbo, pigmentos oriundos da madeira, plantas misturadas com argilas (FAZENDA, 2005).

A explosão da indústria das tintas deu-se na época da Revolução Industrial. Nesse período houve descoberta de novas tecnologias para fabricação de tintas, resinas e óleos começaram a ser usados para incorporação das tintas. Porém, a formulação da tinta era algo sigiloso e de difícil acesso - consequentemente caras, pois eram preparadas em pequenas quantidades utilizando moinhos arcaicos para misturas (FAZENDA, 2005).

A partir do século XIX, com o surgimento da indústria de vernizes e tintas, os revestimentos orgânicos ganharam espaço no cenário. Novos pigmentos, óleos, desenvolvimentos de resinas celulósicas e sintéticas e vários agentes modificantes começaram a ser estudados, revolucionando a indústria das tintas (FAZENDA, 2005).

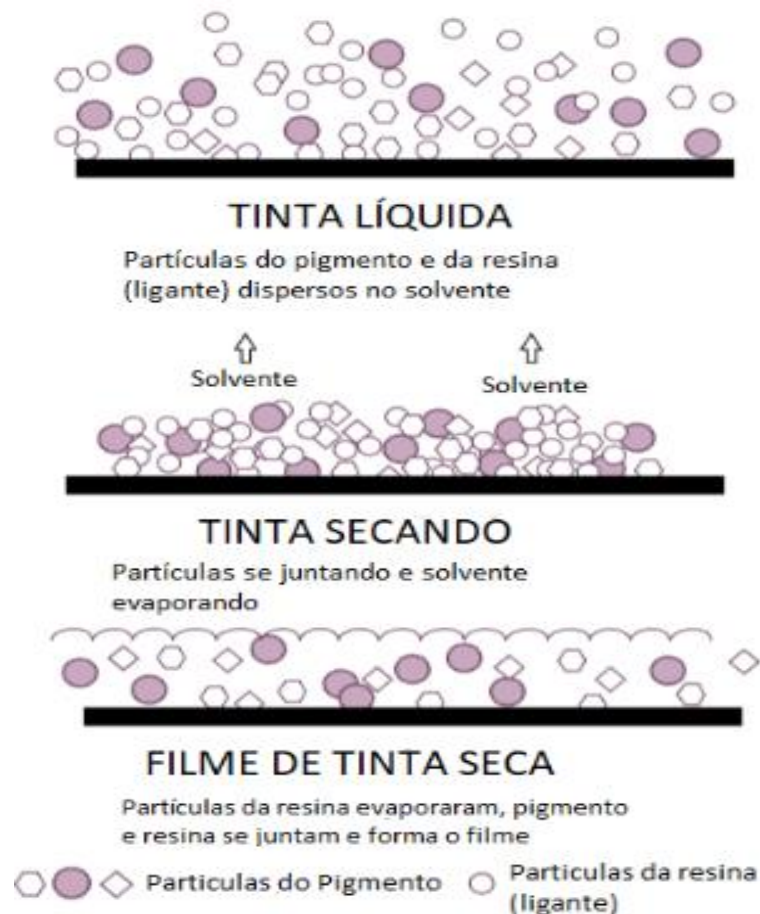
4.1.2 Introdução às tintas

As tintas são um tipo de material de revestimento com propriedades particulares. Por definição, são materiais líquidos, pasta ou particulados em pó que permitem a produção de uma película de revestimento com propriedades técnicas decorativas e protetoras (STREITBERGER; GOLDSCHMIDT, 2007).

Na formulação de uma tinta é necessária a escolha cuidadosa de agentes reológicos, a fim de obter uma reologia estável para manuseio, estocagem, aplicação e propriedades finais da cobertura (AUSCHRA et al, 2015).

A formação da película de tinta ocorre quando o solvente evapora. No processo, as partículas do pigmento e da resina se juntam. À medida que o solvente vai evaporando, a ação capilar retira as partículas da resina fazendo com que elas fundam e liguem as partículas do pigmento, formando um filme contínuo (THE INGREDIENTS OF PAINT, s.d.). A Figura 1 representa esse mecanismo.

Figura 1: Mecanismo da formação da película da tinta.



Fonte: Adaptado de: THE INGREDIENTS OF PAINT, s.d.

4.1.3 Composição das tintas

A tinta líquida é um material de revestimento com característica viscosa. É composta por uma parte sólida, na qual se tem as resinas, o pigmento e os aditivos, e uma parte líquida, composta pelo solvente (PEIFER, 2006).

A resina, conhecida também como ligante ou aglutinante, é a parte não volátil da tinta, sendo responsável pela formação da película sólida, que é consolidada após a secagem da tinta. Sem a resina o material depositado seria formado apenas por pigmentos e solventes, que resultaria em um filme sem propriedades de proteção e estética apreciáveis. (JESUS, 2000).

A natureza da resina é responsável por dar o nome à tinta, sendo que a escolha do tipo da resina é um dos principais parâmetros para a qualidade da tinta. Os tipos de resinas mais usuais são as vinílicas, acrílicas, alquídicas, poliuretânicas, epóxi, poliéster e nitrocelulose (ANGHINETTI, 2012).

Os pigmentos são sólidos particulados que estão dispersos nas tintas a fim de fornecer algumas propriedades às tintas. As propriedades incluem cor, opacidade e algumas características de resistência. A fim de se ter uma tinta de boa qualidade, os pigmentos devem apresentar algumas características. O tamanho e a forma das partículas do pigmento devem ser considerados, pois podem causar aglomeração dentro da embalagem de armazenamento, ou até mesmo a precipitação do pigmento, afetando as propriedades de brilho e cor (TALBERT, 2007).

Os solventes são utilizados a fim de solubilizar ou dissolver outros materiais. Na área das tintas, eles são frequentemente usados para dissolver a resina bem como manter a mistura dos componentes homogênea. Os solventes são responsáveis por adequar a viscosidade do meio para aplicação do revestimento, bem como possuir propriedades específicas para que a película de tinta seja formada de forma adequada (FAZENDA, 2005).

Após a tinta ser aplicada ocorre a evaporação do componente líquido de forma gradual, que acontece através do uso de solventes com diferentes pontos de ebulição. Deste modo, é possível controlar a evaporação para que ela ocorra homogênea, evitando o escorrimento da tinta e possíveis imperfeições. (ANGHINETTI, 2012).

Os aditivos são um conjunto de componentes químicos que são adicionados às tintas em pequenas quantidades, com a finalidade de conferir determinadas propriedades. Geralmente são divididos por função, classificados em aditivos de

cinética, como os secantes e catalisadores, aditivos de processo - os surfactantes; aditivos de preservação, como estabilizantes de raios ultravioleta, e os aditivos de reologia - os espessantes (PEIFER, 2006).

Os espessantes têm grande importância na composição das tintas com função de modificar sua reologia, a fim de conferir melhores propriedades de aplicação e estabilidade.

4.1.3.1 Espessantes

Os espessantes são uma classe de aditivos que possuem características de encorpar uma tinta, tendo como resposta o aumento de sua viscosidade. Para as tintas, o controle da reologia associado ao uso de espessantes é fundamental, pois controlará a estabilidade da tinta quando as latas estão estocadas, de modo a evitar a sedimentação dos pigmentos, assim como as propriedades de aplicação (KOLESKE; SPRINGATE; BREZINSKI, 2011).

De um modo geral, os espessantes são selecionados de forma a conferir alta viscosidade em baixas taxas de cisalhamento, como no comportamento de uma tinta dentro da lata, e baixa viscosidade em altas taxas de cisalhamento, como no comportamento da tinta durante a aplicação (KOLESKE; SPRINGATE; BREZINSKI, 2011).

Os espessantes podem ser divididos em classes, como orgânicos e inorgânicos. Os orgânicos, de maior diversidade que os inorgânicos, podem ser subdivididos em sintéticos e celulósicos. Na categoria dos sintéticos, há existência de duas classes, tipo associativo e não associativo (FRANCO, 2011).

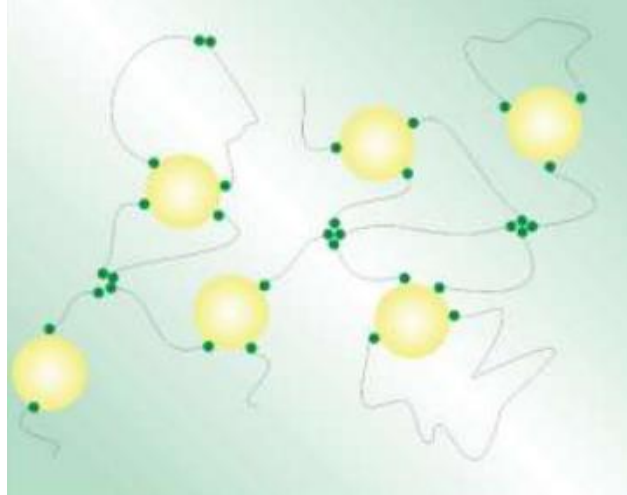
Os espessantes não associativos, como exemplo as emulsões alcalinas expansíveis (ASE), caracterizam-se por cadeias de copolímeros carboxilados com funcionalidade ácida, que ativa seu mecanismo de espessamento ao aumentar o pH do sistema, fazendo com que as cadeias sejam hidratadas e expandam em função da repulsão da ionização do grupo ácido, causando aumento na dimensão hidrodinâmica do polímero e conseqüentemente da viscosidade (PEIFER, 2006).

Os espessantes associativos podem ser caracterizados como polímeros que apresentam cadeias com partes hidrofóbicas. Uma extremidade irá se ligar a resina e a outra se ligará aos demais componentes, a fim de espessar a tinta. Em meio aquoso,

esses polímeros formam uma rede tridimensional que será responsável pelo aumento da viscosidade (KOLESKA; SPRINGATE; BREZINSKI, 2011).

Os espessantes tipo HASE (emulsões alcalinas expansíveis modificadas hidrofobicamente) fazem parte dos espessantes associativos. Seu mecanismo de espessamento ocorre devido a interação dos grupos hidrofóbicos do espessante com as partículas hidrofóbicas contidas no meio. Quando em meio alcalino e em contato com as partículas do meio formam-se emaranhados micelares que permitem o espessamento e aumento da viscosidade. (PEIFER, 2006). A Figura 2 representa a estrutura de um espessante tipo HASE, sendo as esferas verdes representações dos grupos do espessante e as esferas amarelas são partículas do meio.

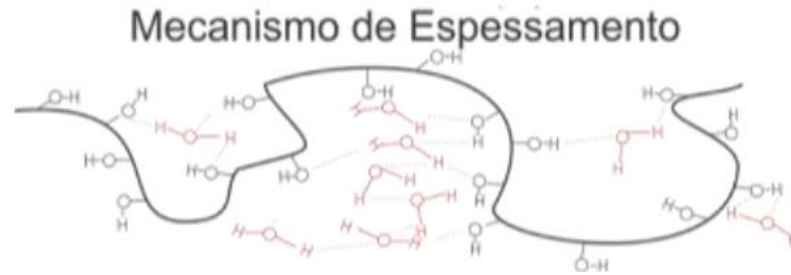
Figura 2: Estrutura do espessante HASE em contato com partículas do meio.



Fonte: ADAPTADO de SOUZA,2016

Na categoria dos espessantes celulósicos pode-se citar a carboximetilcelulose (CMC), hidroximetilcelulose (HEC), entre outros. São caracterizados por espessarem em água através de um mecanismo hidrodinâmico e são dependentes do peso molecular do polímero. O seu espessamento ocorre devido as ligações de hidrogênio formadas entre as cadeias do polímero e as moléculas de água, criando emaranhados nas moléculas de celulose que reduzem a mobilidade das moléculas de água resultando no espessamento do meio (PEIFER, 2006). O mecanismo de espessamento está representado na Figura 3.

Figura 3: Mecanismo de espessamento de espessantes celulósicos.



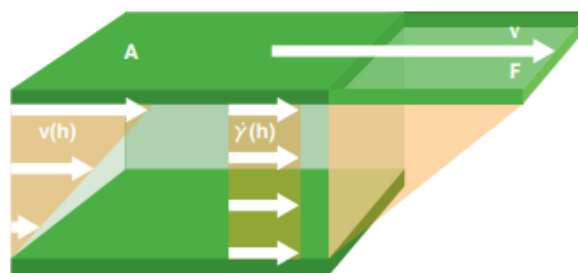
Fonte: SOUZA,2016

4.2 Fundamentos da Reologia

A reologia é definida como uma ciência que estuda o fluxo e a deformação da matéria, que pode estar no estado líquido, sólido ou gasoso. A sua análise é baseada por meio da resposta dada pela matéria, mediante a aplicação de uma tensão ou deformação (BRETAS; D'ÁVILA, 2005).

Isaac Newton introduziu uma teoria utilizando um modelo experimental fundamentado em duas placas paralelas com determinada área, separadas por uma distância e preenchidas por um fluido, como indicadas na Figura 4. Ao aplicar uma força na placa superior, a placa irá se mover a uma certa velocidade, que será controlada pela resistência do fluido presente entre as placas, dando origem ao conceito de viscosidade (SCHRAMM, 2006).

Figura 4: Modelo de Newton para escoamento de fluidos.



Fonte: BASF, 2009

A partir desse conceito, pode-se definir a tensão de cisalhamento como uma relação entre a força e a área da placa, apresentada pela equação:

$$\sigma \text{ [Pa]} = \frac{F}{A} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

sendo que: σ é a tensão de cisalhamento, F é a força e A é a área da placa.

Com isso, a taxa de cisalhamento será resultado de um gradiente de velocidade criado pela força aplicada, devido a diferença de mobilidade entre a placa móvel superior e a placa fixa inferior, demonstrada pela equação:

$$\dot{\gamma}[\text{s}^{-1}] = \frac{v}{h} \left[\frac{\text{m/s}}{\text{m}} \right]$$

sendo: $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento, v é a velocidade da placa e h é a distância entre a placa fixa e a placa móvel.

O conceito de taxa de cisalhamento pode ter sua aplicação mais bem entendida como um pincel aplicando tinta como apresentado na Figura 5, na qual o pincel é movido a uma velocidade e deposita um filme de determinada espessura sob um substrato.

Figura 5: Taxa de deformação na aplicação de tinta por pincel.



Fonte: Adaptado de: BASF, 2009

A lei de Newton da viscosidade é aplicada para uma determinada classe de fluidos, os Newtonianos, que são caracterizados por terem uma relação linear entre tensão e taxa de cisalhamento, resultando numa viscosidade constante que manterá seu valor independente das tensões e deformações aplicadas no sistema. Esse comportamento é apresentado em poucos fluidos, como água e o ar (BRETAS; D'ÁVILA, 2005).

Entretanto existem materiais que se comportam diferentemente, denominados fluidos não newtonianos, que são classificados em dependentes do tempo e os independentes do tempo. Os fluidos independentes do tempo irão apresentar os seguintes comportamentos de fluxo:

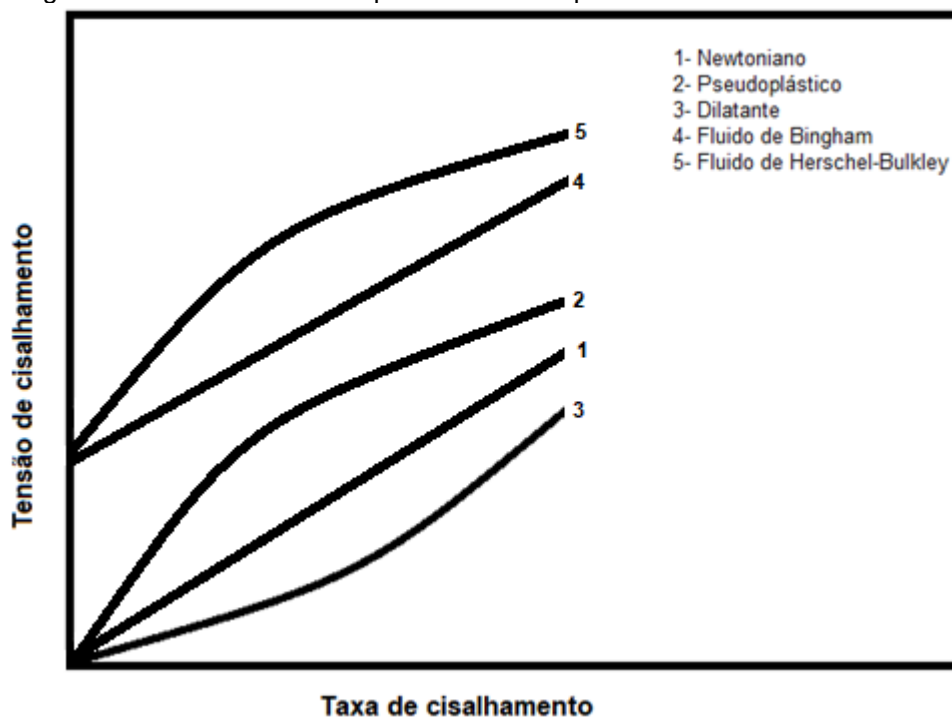
-Pseudoplásticos: essa classe é caracterizada por uma diminuição da viscosidade mediante o acréscimo da taxa de cisalhamento (SCHRAMM, 2006). O comportamento pseudoplástico também é conhecido *shear thinning* (afinamento por cisalhamento).

-Dilatantes: são fluidos que respondem com aumento da viscosidade mediante o acréscimo da taxa de cisalhamento (SCHRAMM, 2006). Nesse caso, os fluidos dilatantes também podem ser chamados de *shear thickening* (espessamento por cisalhamento).

-Plásticos: os fluidos com comportamento de fluxo plástico podem ser exemplificados como dispersões que em repouso criam uma rede interpartículas mantidas por forças intermoleculares. Para que ele comece a fluir é necessário superar essa força, num nível dado como tensão de escoamento (SCHRAMM, 2006).

Dentro dessa classe, o fluido pode se comportar como um fluido de Bingham, que ao alcançar a tensão de escoamento flui linearmente como um Newtoniano; e o fluido de Herschel-Bulkley, que ao alcançar essa tensão flui de forma não linear. O gráfico apresentado na Figura 6 faz a representação dos fluidos não newtonianos citados.

Figura 6: Perfil de fluidos independente do tempo.



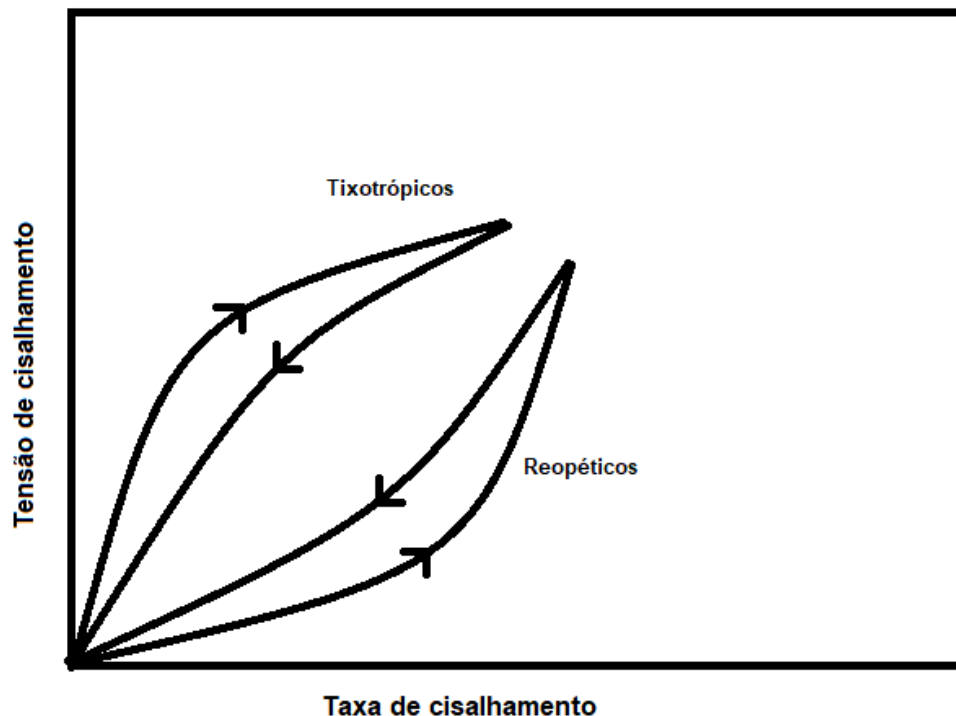
Fonte: Autoria própria.

Por sua vez, existem os fluidos dependentes do tempo e comportam-se como indicado na Figura 7. A curva de fluxo para cima e para baixo, que estão representadas pelas setas, indicam o comportamento para cada fluido em função do aumento do cisalhamento, resultando no fenômeno de histerese.

-Tixotrópicos: nessa classe de fluidos, a viscosidade diminui mediante o tempo de aplicação de uma taxa de cisalhamento. É resultado da quebra das estruturas internas através da taxa de cisalhamento imposta, que ao cessar tem a estrutura quebrada reorganizada (BRETAS; D'ÁVILA, 2005).

-Reopéticos: essa classe de fluidos tem característica oposta aos tixotrópicos, pois tem sua viscosidade aumentada sob imposição de uma taxa de cisalhamento. É explicado pela tendência de aglomeração das estruturas internas sob influência do cisalhamento aplicado, que ao cessar tem sua viscosidade retornada ao valor inicial (BRETAS; D'ÁVILA, 2005).

Figura 7: Perfil de fluidos dependente do tempo.



Fonte: Autoria própria.

4.3 Fluidos estruturados

Materiais fluidos são definidos como compostos que fluem sob ação de uma tensão e sua resposta a esse estímulo é o que define o seu comportamento reológico. Uma classe de fluidos denominada estruturados são os que apresentam mais de uma fase, podendo ser partículas sólidas dispersas em um líquido ou até mesmo emulsões de líquidos imiscíveis, e seu comportamento reológico irá ser dependente das interações entre as fases (FRANCK, s.d.).

Os fluidos estruturados são compostos com mais de uma fase, em que se tem átomos adjacentes de livre mobilidade, formando uma matéria condensada. As estruturas presentes nos fluidos são poliatômicas conectadas, podendo ser partículas sólidas ou grandes moléculas. Apresentam uma variedade de comportamentos resultando em propriedades distintas que são explicados pela interação das estruturas (WITTEN; PINCUS, 2004).

A interação das estruturas é uma maneira de organização que ocorre nos fluidos estruturados. Deve-se levar em conta características como a massa volumosa, a flexibilidade e tenacidade das cadeias contidas no meio, sendo que refletirão nas propriedades do fluido. Os coloides são fluidos que contem partículas poliatômicas compactas suspensas em um líquido. As partículas contidas são volumosas, porém não são tênues nem flexíveis. Quando ocorre o aumento da interação das partículas coloidais, eles se auto organizam formando os agregados coloidais. Por sua vez apresentam estruturas volumosas e tênues, porém sem flexibilidade. Outras classes apresentadas são os polímeros, conjunto de surfactantes e a associação de estruturas (WITTEN; PINCUS, 2004).

A viscosidade nessa classe de fluidos é um parâmetro que será responsável pelas características do fluxo do material e tem influência direta em seu desempenho, sendo dependentes do tamanho da partícula, forma, concentração da fase dispersa bem como sua afinidade com a fase continua onde estão suspensos (FRANCK, *s.d.*).

4.4 Reologia e desempenho de tintas

Tintas e revestimentos devem ser otimizados para que tenham um bom desempenho em seu uso final, sendo que essa característica será conseguida a partir do conhecimento e domínio do comportamento reológico (MALVERN, 2015).

O fluxo é uma variável relevante no processo de aplicação de tintas, devendo ser controlado a fim de conseguir uma boa aplicação e formação do filme, sendo que ao ser depositado no substrato deverá formar uma camada fina, sólida e de espessura uniforme. A aplicação bem-sucedida e a boa formação do filme são dadas por um bom conhecimento de fluxo que dependerá da reologia do sistema (ELEY, 2005).

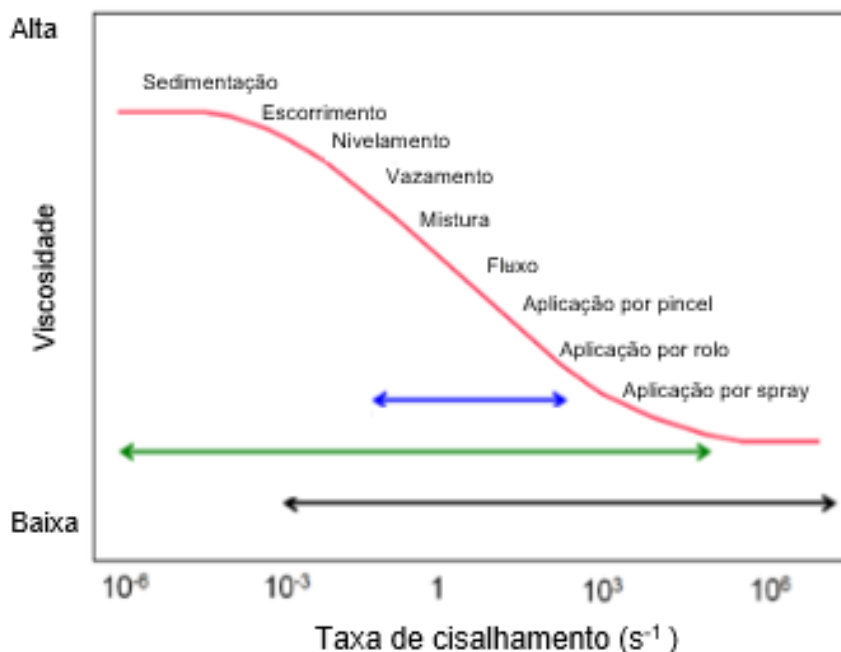
Os estudos de fluxo de materiais encontram grande dificuldade na caracterização das propriedades reológicas, pois os métodos de análise são restringidos a uma faixa estreita de tensão e taxa de cisalhamento. Os testes de

viscosidade laboratoriais são limitados de modo a corresponder a um padrão de controle de qualidade, sendo assim difícil o entendimento da relação com o desempenho do produto, especialmente para fluidos não newtonianos, como as tintas. O controle do fluxo não pode ser feito sem a medição reológica correta, dessa forma o grande desafio é desenvolver um método reológico para colher dados precisos de fluidos estruturados e com isso relacionar com os processos de fluxo que serão empregados (ELEY, 2005).

O bom desempenho das tintas está relacionado com alguns requisitos como o de fluxo e nivelamento, boa dispersão e estabilidade do pigmento para evitar sedimentação, resistência ao escorrimento e respingos, facilidade de pintar e formar uma camada espessa e uniforme do filme, resistência a fluxo induzido pela tensão superficial. Cada um desses requisitos está relacionado a um valor de tensão, taxa de cisalhamento e uma escala de tempo, que responderá em um certo valor de viscosidade. Para fluidos newtonianos, a viscosidade é independente da tensão e taxa de cisalhamento aplicado, porém no caso das tintas, fluidos não newtonianos, a viscosidade será função do cisalhamento aplicado (MALVERN, 2015).

A Figura 8 abaixo representa uma relação entre viscosidade e taxa de cisalhamento para alguns processos de recobrimento.

Figura 8: Relação de viscosidade e taxa de cisalhamento para processos em tintas.

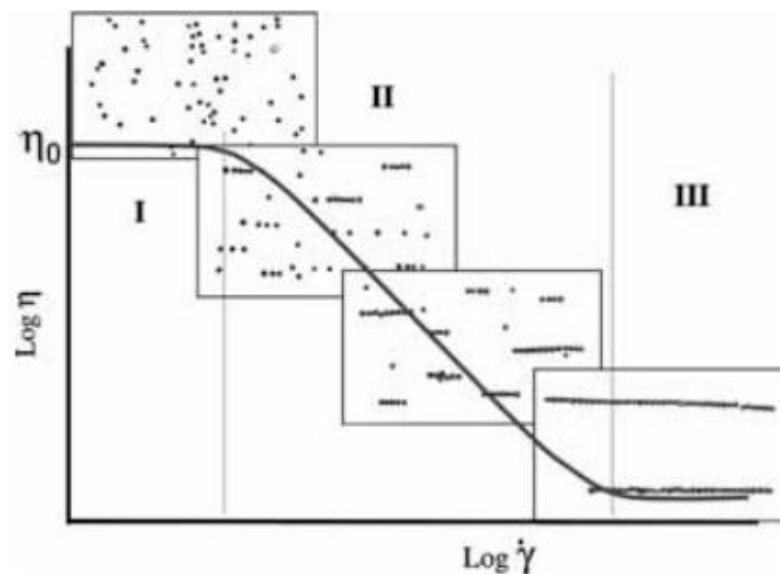


Fonte: Malvern, 2015.

O termo *shear thinning* é designado a fluidos que apresentam queda da viscosidade mediante acréscimo da taxa de cisalhamento. Dessa forma, a viscosidade pode ser considerada uma medida da dissipação de energia que um fluido utiliza para fluir. No caso do comportamento de *shear thinning* o acréscimo da taxa de cisalhamento provoca uma mudança estrutural no fluido permitindo-lhe fluir de forma mais fácil e com menor dissipação de energia. O sistema é regido por forças térmicas (Brownianas) o que é responsável por mantê-lo numa ordem aleatória, sendo que esse acréscimo na taxa de cisalhamento irá trazer ordem e alinhamento ao sistema, fazendo com que ele flua mais facilmente, ou seja, com menor viscosidade (KOLESKE, 2014)

A Figura 9 representa o mecanismo de *shear thinning* divididos em 3 regiões: A região I representa as partículas dispostas aleatoriamente regidas por forças Brownianas; a região II o sistema começa a se ordenar; a região III o sistema totalmente ordenado.

Figura 9: Representação do mecanismo de shear thinning.

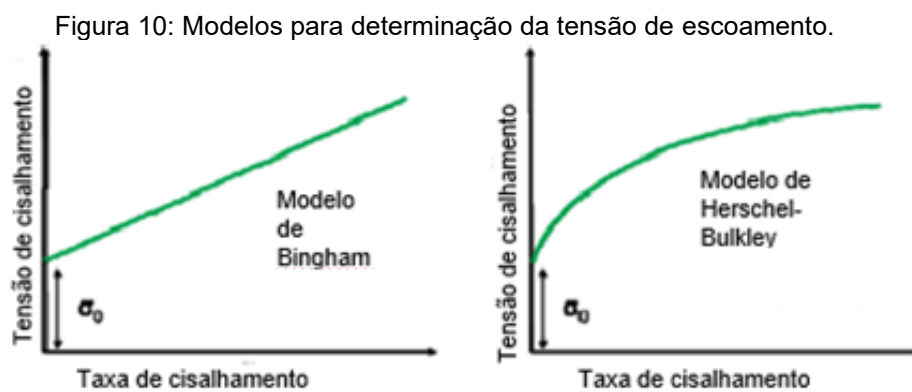


Fonte: Koleske, 2014.

O escorrimento de uma tinta ocorre devido às forças gravitacionais que agem no revestimento quando aplicados em uma superfície inclinada. O escorrimento será o resultado de uma distribuição de tensões ao longo do revestimento, sendo que a máxima tensão ocorre na interface entre o substrato e a tinta. Para evitar esse tipo de efeito a tinta deve ter uma tensão de escoamento que seja maior que a tensão de cisalhamento máxima ocorrente em contato com o substrato. Abaixo da tensão de

escoamento, a tinta apresentará característica semelhante a um sólido devido as interações estruturais internas, e acima desse valor a tinta fluirá, por exemplo, quando esta for submetida à aplicação de tensão no momento do uso do pincel (MALVERN, 2015).

A fim de determinar valores para tensão de escoamento dinâmico de um fluido, é interessante ajustar uma curva de fluxo aos modelos de Bingham ou Herschel-Bulkley, onde pode-se prever o início do comportamento no estado sólido por extrapolação de dados. Na Figura 10 apresentado os dois modelos para definição da tensão de escoamento (LARSSON; DUFFY, 2013).



Fonte: Adaptado de: Larsson; Duffy, 2013

A partir do gráfico e com auxílio dos modelos matemático de Bingham e Herschel-Bulkley descritos respectivamente abaixo, é possível determinar a tensão de escoamento.

$$\sigma = \sigma_0 + \eta_b \dot{\gamma} \qquad \sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^n$$

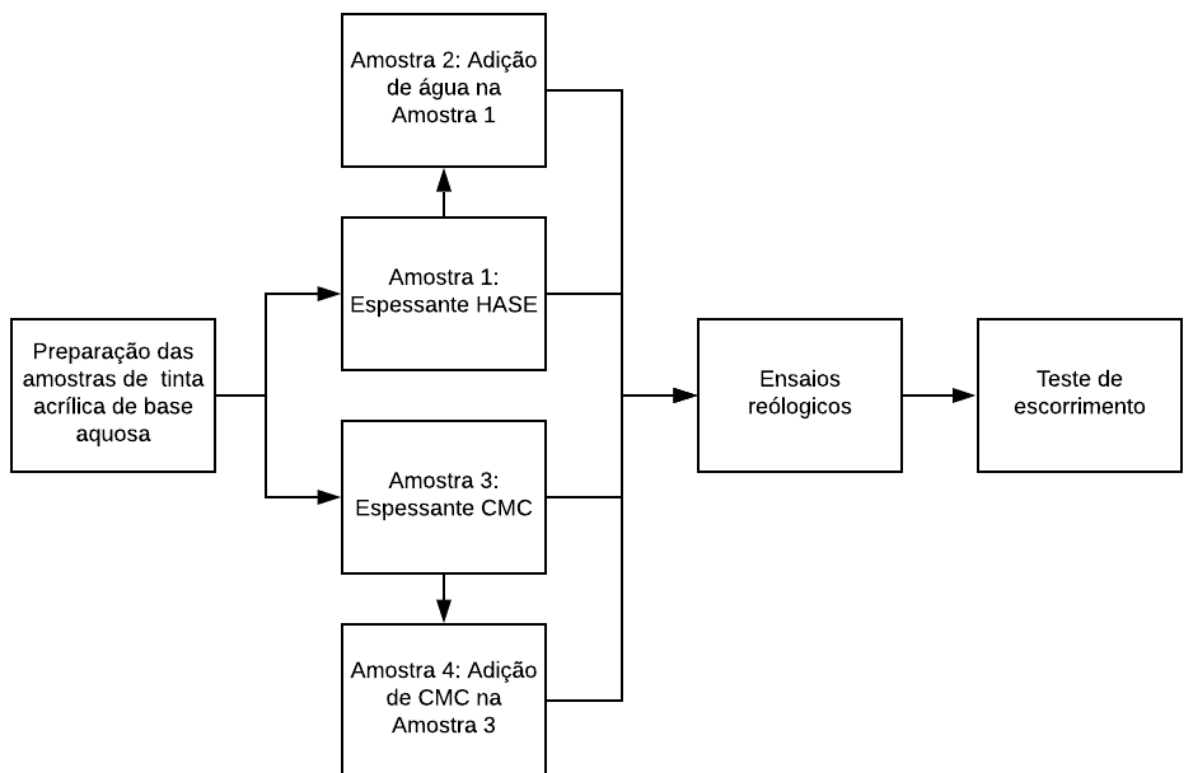
onde σ_0 é a tensão de escoamento, η_b é a viscosidade de Bingham, $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação, K é o índice de consistência e n é um índice de comportamento do fluido. O valor de n irá informar se o fluido apresenta características de espessamento quando $n > 1$ ou afinamento, quando $n < 1$ (LARSSON; DUFFY, 2013).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Fluxograma

A Figura 11 representa o fluxograma das atividades experimentais que foram realizadas nesse projeto.

Figura 11: Fluxograma das atividades.



Fonte: Autoria própria

5.2 Materiais

Os materiais utilizados para este estudo foram diferentes amostras de uma tinta acrílica de base aquosa com sua composição variando o espessante em tipo HASE e CMC.

As amostras de tintas nomeadas como Amostra 1 e Amostra 3 foram as padrões utilizadas no presente trabalho. Para efeitos de comparação no estudo foram

formuladas duas novas amostras a partir das amostras tomadas como padrão. A Amostra 2 foi feita a partir da diluição com água de uma quantidade da Amostra 1 que contém espessante tipo HASE. A preparação da Amostra 4 foi feita a partir de uma quantidade da Amostra 3, que foi separada e adicionada mais espessante CMC.

A Tabela 1 apresenta a identificação das diferentes amostras formuladas com cada tipo de espessante bem como o percentual em massa de espessante e água, sendo a Amostra 1 e 3 as amostras padrão e a Amostra 2 e 4 as novas formulações.

Tabela 1: Identificação das amostras de tinta.

Identificação	Espessante	% Espessante	% Água
Amostra 1	HASE	0,70%	48,34%
Amostra 2	HASE	0,58%	57,10%
Amostra 3	CMC	0,40%	48,64%
Amostra 4	CMC	0,92%	48,38%

Fonte: Autoria própria.

5.3 Métodos

5.3.1 Ensaio no reômetro rotacional

Os ensaios foram realizados em um reômetro rotacional da marca Brookfield localizado no laboratório B004 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina.

A realização do ensaio para definir o comportamento reológico das tintas foi feito no modo com taxa de cisalhamento controlada (CSR) com um *spindle* tipo cone-placa com diâmetro de 25mm e angulação de 2° e temperatura fixada em 25°C. Dessa forma, as amostras foram ensaiadas variando a taxa de cisalhamento de 0 até 3000s⁻¹ por 100 segundos.

Os dados coletados pelo reômetro foram tratados com auxílio do software Microsoft Excel. Para a modelagem de Herschel-Bulkley, os dados de tensão e taxa de cisalhamento foram plotados em escala logarítmica. Os parâmetros “n” e “K” do modelo foram obtidos a partir dos algoritmos interno do programa de análise dos dados (análise de regressão linear simples, pelo método dos mínimos quadrados).

5.3.2 Teste de escorrimento

O teste de escorrimento foi realizado a partir de uma adaptação da norma ASTM D4400. Foi utilizado uma lâmina de aplicação com 11 entalhes feitos por um processo de usinagem distanciados por 2mm e com alturas distintas variando de 0,10mm até 0,60mm e uma folha de papel laminado branca e preta. Na Figura 12 está apresentado o equipamento normativo. O equipamento confeccionado de acordo com a norma e utilizado para realização do teste laboratorial está apresentado na Figura 13.

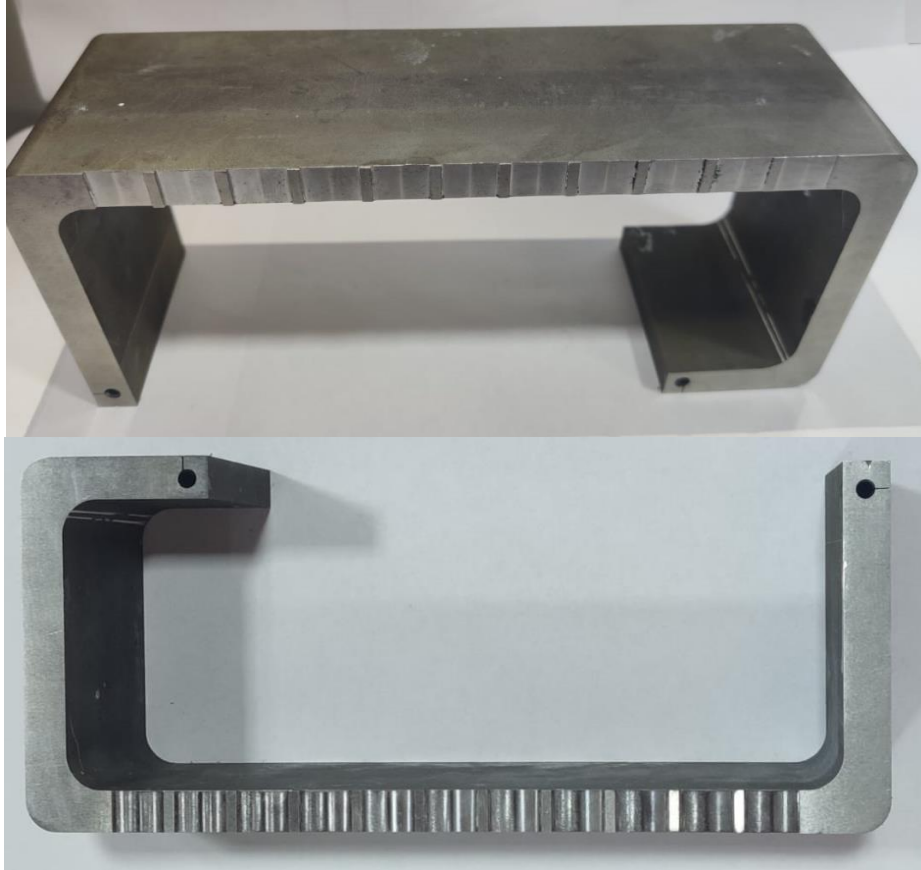
O procedimento para realização do teste consistiu na mistura da tinta para que fosse homogeneizada e em seguida colocou-se uma quantidade de tinta posicionada em contato com a lâmina de aplicação, de forma a preencher toda sua extensão. Feito isso, a lâmina foi arrastada pela superfície da folha formando estrias de tinta de diferentes espessuras e então a folha foi posicionada na posição vertical para observar o escorrimento. O escorrimento foi avaliado em função da tendência das estrias em escorrerem.

Figura 12: Lâmina de aplicação para teste de escorrimento.



Fonte: ASTM, 2018.

Figura 13: Lâmina de aplicação utilizada no teste



Fonte: Autoria própria

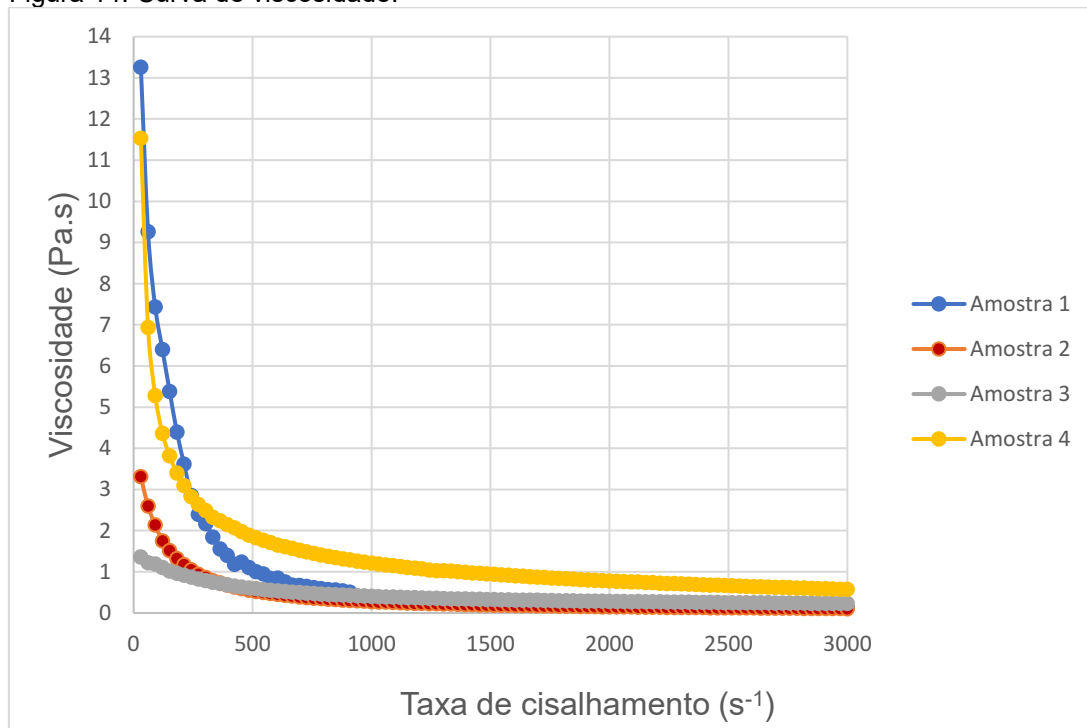
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Ensaio de reometria

6.1.1 Análise da viscosidade

A Figura 14 apresenta a curva de viscosidade em função da taxa de cisalhamento das amostras de tinta e na Tabela 2 encontram-se os valores de viscosidade inicial e final.

Figura 14: Curva de viscosidade.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2: Valores de viscosidade inicial e final.

Identificação	Viscosidade inicial (Pa.s)	Viscosidade final (Pa.s)
Amostra 1	13,25	0,13
Amostra 2	3,31	0,10
Amostra 3	1,35	0,22
Amostra 4	11,52	0,57

Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que todas as amostras estudadas, independentemente do tipo de espessante utilizado bem como sua diluição em água apresentaram

comportamento *shear thinning* ou afinamento por cisalhamento, caracterizado por uma diminuição da viscosidade em função do acréscimo da taxa de cisalhamento. É interessante ressaltar que o comportamento da tinta de alta viscosidade em baixas taxas de cisalhamento favorece uma melhor estabilidade do sistema durante estocagem, evitando problemas de sedimentação e mantendo o sistema mais bem estruturado.

Como foi citado por Koleske (2014), a característica apresentada pelos fluidos que diminuem sua viscosidade em função do aumento da taxa de cisalhamento dá-se devido a mudança estrutural ocorrida no meio. O sistema é regido por forças Brownianas e mantem-se em ordem aleatória, sendo que ao começar a ser cisalhado, faz com que as partículas internas se ordenem e se alinhem com o sistema, permitindo-lhe que flua mais facilmente como resultado da diminuição de sua viscosidade.

Em relação a comparação dos espessantes utilizados nas diferentes composições de tintas, é possível observar que a Amostra 1 apresentou comportamento semelhante a Amostra 4, sendo diferenciadas pelo tipo de espessante bem como sua concentração, o que leva a supor que apresentariam o mesmo comportamento durante a pintura. No caso das Amostras 1 e 3 que foram as amostras padrão utilizadas no estudo, apresentaram comportamento distinto em relação a viscosidade em baixa taxa de cisalhamento, o que também poderia influenciar no seu comportamento durante aplicação.

No caso da Amostra 2 e 3, elas apresentaram comportamento semelhante, diferenciando-se no tipo de espessante e na maior quantidade de água da Amostra 2, sendo razoável supor que ambas tintas apresentariam mesmo desempenho na pintura. O fato da Amostra 2 conter uma maior quantidade de água poderia refletir em uma formulação mais econômica, porém a diferença entre os espessantes utilizados é um fator que deve ser levado em conta.

É razoável também supor que esse comportamento distinto das tintas pode estar associado às interações internas do espessante com o meio. Segundo Peifer (2006), o mecanismo de aumento de viscosidade para o espessante HASE é dado em função da interação de seus grupos hidrofóbicos com as partículas hidrofóbicas do meio. No caso do espessante CMC, o mecanismo de espessamento ocorre em função das ligações de hidrogênio formadas no meio, que resultam na redução da mobilidade das moléculas de água e garantem o aumento de viscosidade.

Visto isso, a diferença de viscosidade inicial entre a Amostra 1 e Amostra 2, que foi formulada com adição de água na primeira, pode estar associada ao enfraquecimento da interação interna do espessante já que seu mecanismo é regido em função do contato dos grupos hidrofóbicos. O mesmo ocorreu entre a Amostra 3 e Amostra 4, que foi formulada com maior quantidade de CMC. O sistema foi alimentado com uma maior quantidade de espessante, o que possibilitou uma redução mais acentuada na mobilidade da água presente no meio e resultou numa maior viscosidade inicial.

6.1.2 Curvas de fluxo

O estudo do comportamento reológico das tintas através das curvas de fluxo foi analisado em função da sua resposta identificada pelo reômetro e os dados experimentais ajustados ao modelo matemático de Herschel-Bulkley. A partir desse modelo é possível obter algumas variáveis como tensão de escoamento, índice de consistência e índice de comportamento de fluxo.

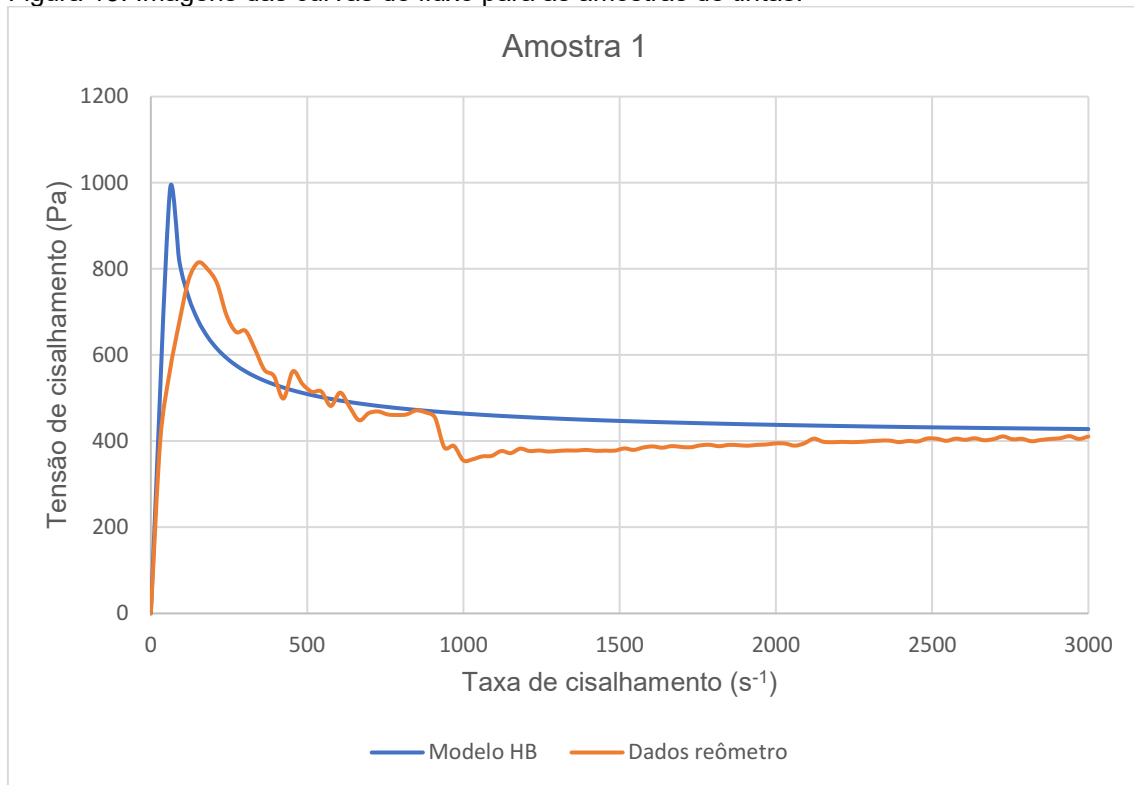
A definição de um valor para tensão de escoamento em fluidos é um desafio complexo. De acordo com Eley (2005) o conceito de tensão de escoamento foi bastante discutido e apresenta controvérsias na sua definição, sendo questionado se fluidos estruturados possuem um verdadeiro valor de escoamento. Nesse caso, é citado que os fluidos estruturados apresentam uma viscosidade finita em baixos valores de tensão, que está associado a forças de atração e resultam em um fluxo descontínuo. Em termos práticos, a tensão de escoamento pode ter influência direta no processamento e aplicação de tintas e deve ser levado em conta durante sua formulação.

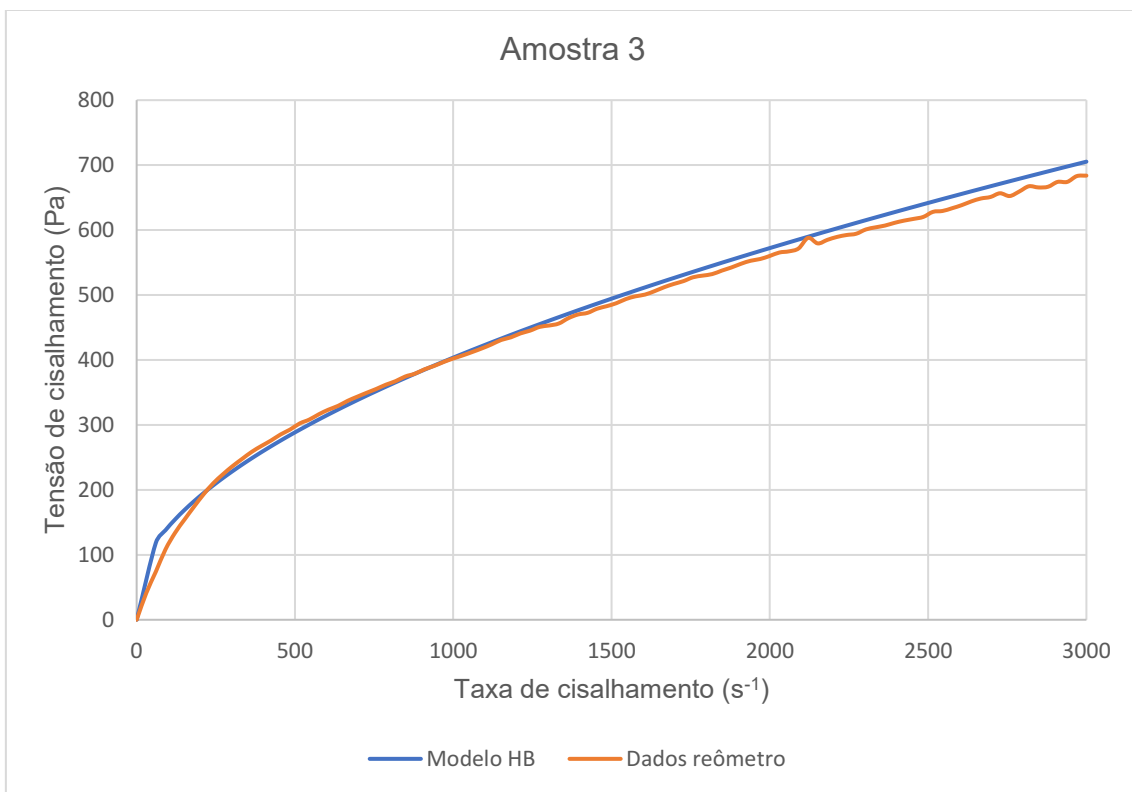
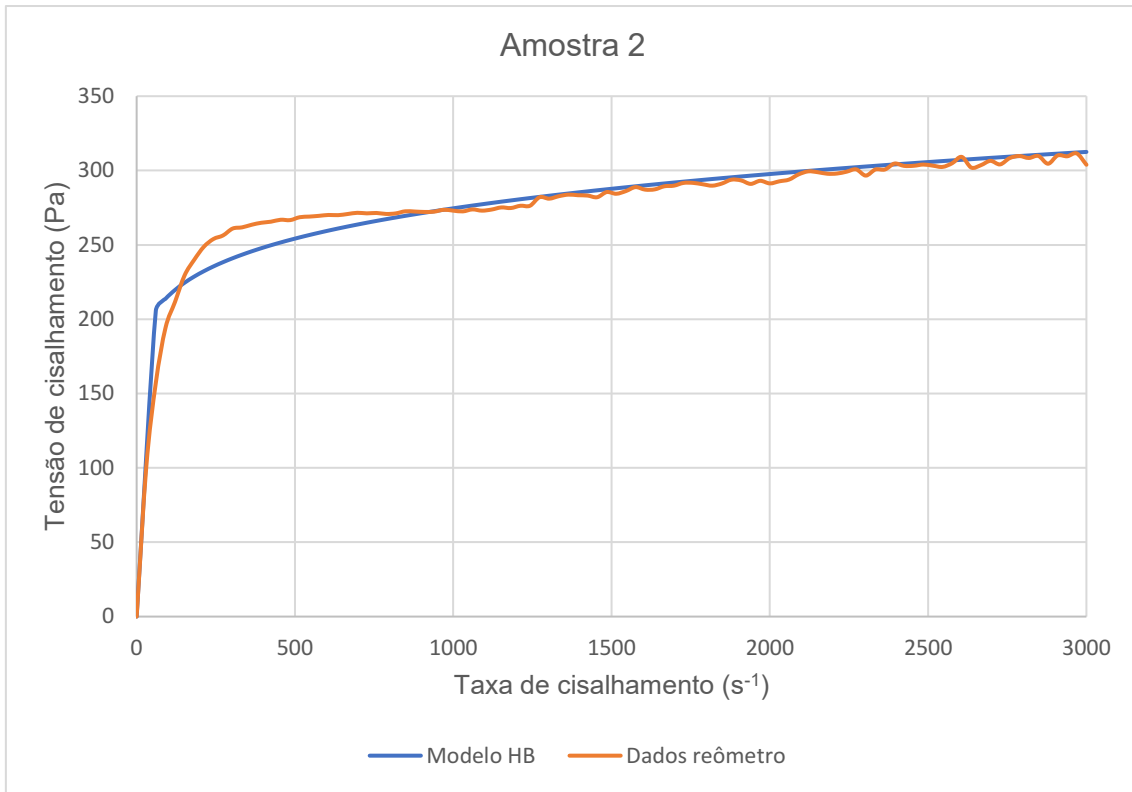
Segundo Adewale et al. (2017) o conceito da tensão de escoamento para o modelo de Herschel-Bulkley é um desafio, pois o fluido pode sofrer pequenas deformações a baixas tensões antes de atingir o valor estipulado de escoamento. Para seu estudo, considerou a tensão de escoamento anotada quando o viscosímetro atingiu 3 rpm.

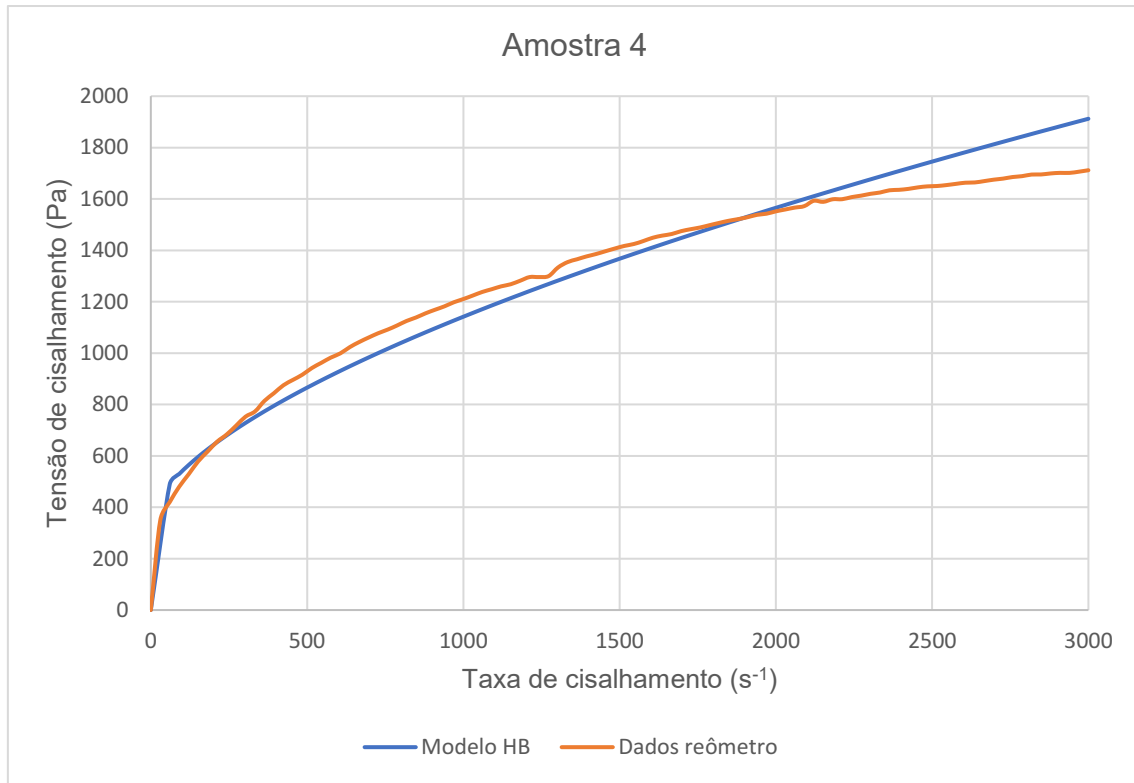
Para realização do presente estudo considerou-se a tensão de escoamento (σ_0) como o primeiro valor de tensão anotado pelo reômetro. As outras duas variáveis para modelagem foram definidas através da regressão linear.

A Figuras 15 apresenta as imagens de todos os gráficos de curvas de fluxo com os dados do reômetro bem como ajustadas ao modelo de Herschel-Bulkley de todas as amostras de tintas estudadas. A Tabela 3 apresenta os parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley utilizadas na modelagem bem como o coeficiente de correlação (r).

Figura 15: Imagens das curvas de fluxo para as amostras de tintas.







Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para amostras de tinta.

Identificação	σ_0 (Pa)	$K(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n	r
Amostra 1	402,35	15156	-0,79	0,815
Amostra 2	100,31	50,50	0,17	0,950
Amostra 3	41,10	8,04	0,55	0,998
Amostra 4	350,03	11,02	0,61	0,985

Fonte: Autoria própria.

Através do coeficiente de correlação é possível afirmar que as amostras 2, 3 e 4 foram bem adaptadas ao modelo de Herschel-Bulkley, atingindo valores maiores que 0,95 indicando forte correlação. Com a modelagem matemática pode-se observar que essas amostras apresentaram um valor de $n < 1$, o que confirma que seu comportamento de *shear thinning*.

No caso específico da Amostra 1, ela apresentou um valor de correlação inferior em relação as demais, e seu comportamento de fluxo bem como a modelagem também se mostraram distintos, o que é mostrado pelo índice de consistência (K) com um valor muito alto e o índice de comportamento (n) de fluxo com valor negativo.

Segundo Fraiha et al. (2011) o comportamento negativo de n é difícil de explicar, podendo estar associado a alguns fenômenos como degradação molecular

da amostra, dissipação viscosa ou deslizamento da amostra no compartimento do aparelho.

Outra hipótese para explicação do valor negativo de n foi proposta por Broboana et al. (2017) em que pode ter ocorrido o fenômeno de bandas de cisalhamento (*shear banding*) na amostra, caracterizado por uma instabilidade na amostra de forma que o fluido não é linearmente ou completamente cisalhado.

O valor do índice de consistência (K) corresponde uma característica do fluido em resistir ao fluxo, sendo que quanto maior seu valor mais consistente é o fluido. No caso da Amostra 1, o seu valor foi muito superior aos demais, o que torna difícil a comparação. A Amostra 4 em relação a Amostra 3 obteve um menor valor do índice, sendo razoável supor que está associado a maior presença de espessante, fator que também influenciou no comportamento da viscosidade como visto antes.

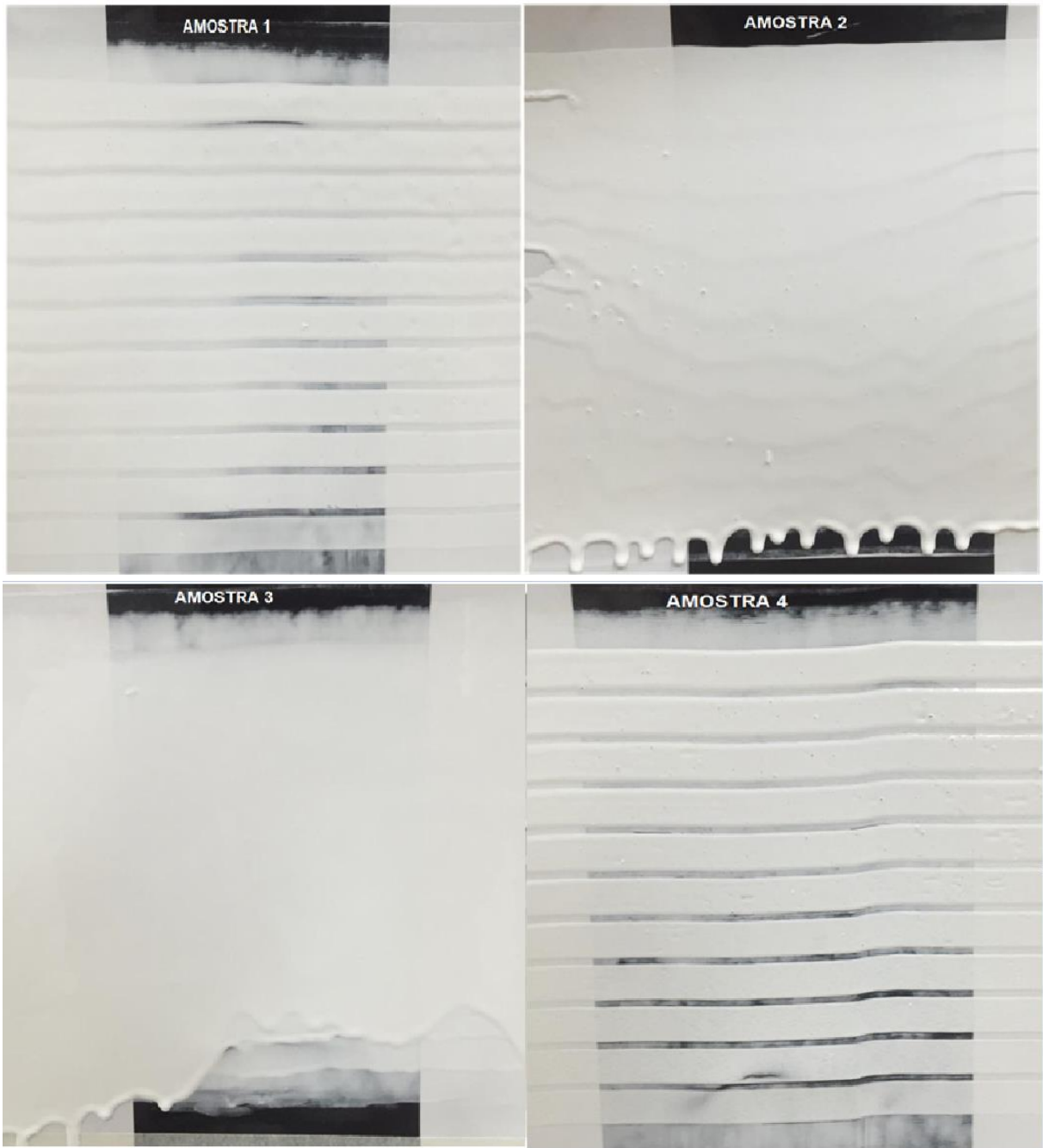
6.2 Teste de escorrimento

O método para análise do escorrimento das tintas foi baseado na norma ASTM D4400, segundo a qual avalia o grau de escorrimento a partir da espessura da última faixa de tinta que foi observado o escorrimento, sendo essa espessura multiplicada por um fator de incorporação e assim definida por um índice.

No caso do presente trabalho, como a ferramenta para avaliação do escorrimento foi adaptada, a análise do escorrimento foi feita em função da tendência de as estrias escorrerem.

A Figura 16 está apresentando as imagens do teste de escorrimento feito nas amostras analisadas.

Figura 16: Imagens do teste de escorrimento para as amostras de tinta.



Fonte: Autoria própria.

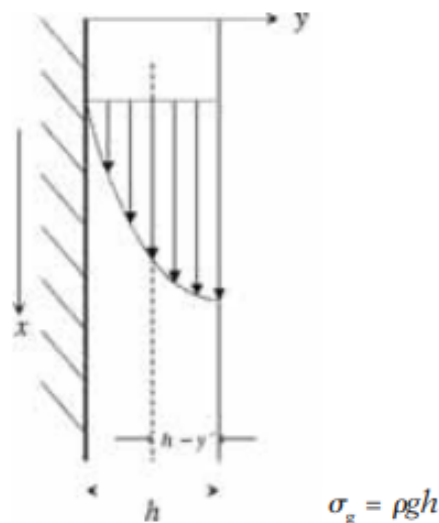
É possível observar que as amostras padrão, no caso Amostra 1 e 3, apresentaram comportamento de escorrimento distinto. A Amostra 1 não mostrou nenhuma característica de escorrimento ao contrário da Amostra 3 que escorreu totalmente.

A adição de água na Amostra 1 para formulação da Amostra 2 contribuiu para que a tinta escorresse totalmente. A adição de espessante na Amostra 3 para formular a Amostra 4 permitiu que as estrias se mantivessem intactas, sem apresentar escorrimento.

É razoável supor que a ideia proposta anteriormente no comportamento distinto da viscosidade pode ser aplicada no caso do escorrimento. As interações internas da tinta foram modificadas pela adição de água bem como de espessante e contribuíram para diferentes comportamentos de escorrimento. Nota-se essa diferença ao comparar a Amostra 1 com a Amostra 2, onde ocorreu adição de água e enfraqueceu as interações internas que possibilitaram o escorrimento; e na diferença entre a Amostra 3 e Amostra 4, em que foi adicionado espessante e permitiu que o sistema ficasse mais fortemente estruturado e evitasse o escorrimento.

Koleske (2014) afirma que uma tinta aplicada sob um substrato está sob ação da gravidade, da espessura do filme e da sua densidade. Essa combinação de fatores responderá com uma tensão de cisalhamento gravitacional que governará o comportamento da tinta. No caso de tintas que possuem uma tensão de escoamento, para que o escorrimento ocorra, a tensão de cisalhamento atuante nela deverá ser de magnitude maior que a tensão de escoamento dela. A Figura 17 faz uma representação desse esquema.

Figura 17: Esquema da tensão de cisalhamento gravitacional



Fonte: KOLESKE, 2014.

O estudo sobre as curvas de fluxo adaptado ao modelo de Herschel-Bulkley visto no presente trabalho teve um valor de tensão de escoamento definido de forma arbitrária como o primeiro valor de tensão respondido na aplicação da taxa de cisalhamento. Dessa forma, as Amostras 1 e 4 apresentaram altos valores, 402,35 Pa e 350,03 Pa e não apresentaram escorrimento. No caso das Amostras 2 e 3, com valores de tensão de 100,31 e 41,10 Pa, apresentaram o escorrimento. Com isso, pode-se inferir que os valores tomados de tensão de escoamento nas Amostras 1 e 4

foram maiores do que as tensão de cisalhamento gravitacional gerada na tinta em contato com substrato, o que evitou o escorrimento. Já no caso das Amostras 2 e 3, a tensão de cisalhamento gravitacional superou a tensão de escoamento definida e causou o escorrimento.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, foi possível concluir que:

- Todas as amostras de tintas apresentaram o comportamento de *shear thinning* ou afinamento por cisalhamento, com uma alta viscosidade em baixo cisalhamento para manter o sistema estável durante a estocagem e armazenamento, e ao momento em que a tinta for aberta e misturada para utilização, o cisalhamento aplicado irá diminuir sua viscosidade facilitando a aplicação. O índice de fluxo $n < 1$ de todas as amostras encontrado pelo modelo de Herschel-Bulkley sustenta essa afirmação.
- A modelagem de Herschel-Bulkley para a Amostra 2 (0,58% HASE), Amostra 3 (0,40% CMC) e Amostra 4 (0,92% CMC) se mostrou satisfatória e com um alto valor de correlação. A Amostra 1 (0,70% HASE) teve um comportamento distinto apresentando um valor negativo de n , podendo ser explicado por formação de bandas de cisalhamento, degradação molecular, dissipação viscosa ou deslizamento da amostra no compartimento do aparelho. Esse comportamento colaborou para o baixo valor de correlação.
- No teste de escorrimento adaptado foi possível observar os distintos comportamentos das amostras de tinta. As Amostras 1 e 4 que tiveram maiores valores de tensão de escoamento foram as que não apresentaram escorrimento, corroborando a teoria que cita que o escorrimento ocorre quando a tensão gravitacional resultante é maior do que a tensão de escoamento do fluido.
- No estudo em geral, o mecanismo próprio de espessamento de HASE e CMC acarretou mudanças no comportamento da tinta. Ao adicionar água em uma tinta com espessante HASE com mecanismo de espessamento hidrofóbico, suas interações foram enfraquecidas e resultou numa diferença no comportamento da viscosidade bem como do escorrimento entre a Amostra 1 e 2. O mesmo acontece nas Amostras 3 e 4 ao adicionar uma quantidade de espessante tipo CMC, que é responsável por diminuir a mobilidade da água, resultando em mudanças na viscosidade e também no comportamento de escorrimento.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos nesse trabalho, são propostas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Aplicar o planejamento fatorial utilizando outros tipos de espessantes, em diferentes concentrações e misturas como forma de otimizar as combinações no desenvolvimento de tintas.
- Estender os testes de laboratório para o campo prático, buscando opiniões de profissionais do ramo em relação a qualidade da tinta para comparação com os resultados obtidos.
- Estudar modelos reológicos alternativos envolvendo a taxa de cisalhamento em função da tensão de cisalhamento.

REFERÊNCIAS

ADEWALE, Folayan J., et. al. **Selecting the Most Appropriate Model for Rheological Characterization of Synthetic Based Drilling Mud.** International Journal of Applied Engineering Research ISSN. v. 12, n. 18, pp. 7614-7629, 2017. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/320197115_Selecting_the_Most_Appropriate_Model_for_Rheological_Characterization_of_Synthetic_Based_Drilling_Mud>
 Acesso em: 10 nov. 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM – D4400: Standard Test Method for Sag Resistance of Paints Using a Multinotch Applicator, 2018.

ANGHINETTI, Izabel Cristina Barbosa. **Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias.** 2012. 62f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <
<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9AHFRU>>. Acesso em: 18 set. 2018.

AUSCHRA, Clemens et al. **The role of thickeners in optimizing coatings formulation.** Basf SE/Alemanha e Basf Company/China, 2014. Disponível em <
http://www.chinacoatcongress.net/con2014_CD/Paper_EN/Paper_7_BASF_E.pdf>.
 Acesso em: 22 mai. 2018

BASF ADDITIVES AND COATINGS. **Practical Guide to Rheology Modifiers,** 2009. Disponível em: <
<https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/load/fid793184/BASF%20Rheology%20Modifiers%20Practical%20Guide.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2018.

BORRALHO, Madalena Faria Martins. **Estudo da influência de espessantes em dispersões aquosas vinílicas e sua aplicação em tintas.** 2014. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <
<https://run.unl.pt/handle/10362/25111>>. Acesso em 18 set. 2018.

BRETAS, R.; D'ÁVILA, M. **Reologia de polímeros fundidos.** 2ed. São Carlos: Editora Eufscar, 2005.

BROBOANA, Diana, et. al. **Numerical Modelling of the Shear Banding Flow in the Proximity of Micro-Structures.** The 10h International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering. Bucareste, Romênia, 2017. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/316443290_Numerical_modelling_of_the_shear_banding_flow_in_the_proximity_of_micro-structures>. Acesso em: 12 nov. 2019.

CONTINUING EDUCATION SUPPLEMENT. **The ingredients of paints and their impact on paint properties.** Paint training module 1. Disponível em < https://www.researchgate.net/profile/Miqdam_Chaichan/post/What_is_the_chemical_composition_of_the_selective_black_color_paint/attachment/59d6449279197b807799fcf1/AS%3A449269447565314%401484125591824/download/ingredientsofpaint.pdf >. Acesso em: 20 mai. 2018.

DING, Jie et al. **Review on shear thickening fluids and applications.** Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST), Vol. 2, nº 4, 2013.

ELEY, Richard R. **Applied rheology in the protective and decorative coatings industry.** Rheology Reviews, pp 173-240, 2005. Disponível em: < <http://www.bsr.org.uk/rheology-reviews/rheologyreviews/protective-decorative-coatings-eley.pdf> >. Acesso em 18 set. 2018.

FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e vernizes: Ciência e Tecnologia.** 4ed. Brasil: ABRAFATI, 2005.

FRAIHA, Marcos, et. al. **Rheological behavior of corn and soy mix as feed ingredients.** Food Science and Technology. v. 31, n. 1, 2011. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612011000100018 >. Acesso em: 12 nov. 2019.

FRANCK, A. **Understanding Rheology of Structured Fluids.** TA Instruments, Sine Datum. Disponível em: < http://www.tainstruments.com/pdf/literature/AAN016_V1_U_StructFluids.pdf >. Acesso em 20 set. 2018.

FRANCO, Raquel Alexandra Barreto. **Estudo da influência de vários espessantes em dispersões aquosas.** 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: < <https://run.unl.pt/handle/10362/21661> >. Acesso em: 18 set. 2018.

JESUS, Catarina. **Reologia em tintas aquosas.** Horquim, Representações, 2000.

KOLESKE, Joseph V. **Paint and coating testing manual.** 15ed. Nova Jersey, Estados Unidos: ASTM International Standards Worldwide, 2012.

KOLESKE, Joseph V.; SPRINGATE, Robert; BREZINSKI, Darlene. In **Additives Handbook.** 2011. Disponível em <

<https://www.pcimag.com/ext/resources/AdditivesHandbook/PCI-Additive-Definitions-2011-SECURED.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

LAMBOURNE, R. **Paint and surface coatings: Theory and Practice**. 2ed. Cambridge, Inglaterra: Woodhead Publishing Limited Ltd, 1999.

LARSSON, M.; DUFFY, J. **An overview of measurement techniques for Determination of Yield Stress**. Annual Transactions of the Nordic Rheology Society, vol. 21, pp. 125-138, 2013.

MALVERN INSTRUMENTS LIMITED. **Optimizing Rheology for Paint and Coating Applications**. 2015 Disponível em: <https://nordicrheologysociety.org/Content/Transactions/2013/19_LarssonAnOverviewofMeasurementTechniquesforDeterminationofYieldStress.pdf>. Acesso em 18 set. 2018.

PEIFER, Maria Tereza. **Estudo da influência de formulações de espessante acrílico em sistemas pigmentados de alto PVC**. 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://www.doccity.com/pt/estudo-reologico-de-espessantes-acrilicos/4763925/>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

SCHRAMM, Gebhard. **Reologia e Reometria Fundamentos teóricos e práticos**. 2ed. São Paulo: Artlibert Editora, 2006.

SOUZA, Thiago Vasques de. **Uma nova forma de caracterização de espessamento de látexes acrílicos**. 2016. 97f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/21676>>. Acesso em: 10 nov. 2019

STREITBERGER, H. J.; GOLDSCHMIDT, A. **Basic of coating Technology**. 2ed. Alemanha: Vincentz, 2007.

TALBERT, Rodger. **Paint Technology Handbook**. 1 ed. Michigan, USA: CRC Press, 2007.

WITTEN, Thomas A.; PINCUS, Philip A. **Structured Fluids: Polymers, Colloids, Surfactants**. Nova York. Oxford University Press Inc.: 2004.