



Desenvolvimento de uma Tinta Aquosa de Monocamada

RICARDO PACHECO DOS SANTOS

Julho de 2019

Desenvolvimento de uma Tinta Aquosa de Monocamada

Autor:

Ricardo Pacheco dos Santos, 1141214

**Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Química, ramo Energia e Biorrefinaria**

Orientadores:

Doutora Maria João Dantas Ramalhosa Ferreira (ISEP)

Eng^a Rita Sofia Oliveira Ferreira (Tintas 2000)

Coorientador:

Doutora Anabela Maria Fonseca De Moura Guedes

Dissertação realizada na empresa: Tintas 2000

Julho de 2019

Agradecimentos

Começo por agradecer à empresa Tintas 2000, pela possibilidade de realização desta dissertação.

Gostaria de agradecer à Eng.^a Maria João Dantas Ramalhosa Ferreira, que abraçou este projeto, apesar de saber das dificuldades que se avizinhavam, um muito obrigado pela sua dedicação e apoio em tudo o que foi necessário.

Queria também agradecer à Eng.^a Anabela Guedes, ao Eng.^o Gilberto Pinto e ao Eng.^o Hendrikus Nouws que possibilitaram o desenvolvimento deste estágio.

Queria agradecer à Eng.^a Rita Ferreira por toda ajuda prestada, quer a nível teórico como a nível experimental, foi essencial em muitos aspetos desta dissertação.

Um muito obrigado à Eng.^a Cristina Moutinho e ao Eng.^o José Marques em todas as dúvidas esclarecidas e interesse que demonstraram na conclusão desta dissertação.

À Cidália Martins agradeço toda a ajuda prestada laboratorialmente, foi a pessoa que mais ajuda prestou no desenvolvimento deste novo produto, sempre me ajudou no processo de fabrico matérias primas e em tudo o que eu precisei.

Agradeço ao Sr. José Rodrigues pelo apoio e disponibilidade demonstrada durante a realização da dissertação.

Aos meus pais que sempre apoiaram em todas as minhas decisões e estiveram sempre ao meu lado para me ajudarem e permitirem as condições para que esta dissertação fosse realizada. Um muito obrigado à minha namorada, Mara Mota, que me ajudou em tudo o que pedi e que me apoiou e ajudou psicologicamente ao longo desta etapa.

Resumo

No âmbito desta dissertação, realizada na empresa Tintas 2000, desenvolveu-se uma tinta aquosa branca de monocamada, com o objetivo de opacificar, protegendo e tornando uma superfície interior homogênea apenas com uma só demão

Assim, a partir de três tintas referência e de uma formulação de base proveniente de uma entidade fornecedora, formularam-se várias tintas, variando cargas e pigmentos de forma a verificar a contribuição destes para o poder de cobertura. Após a conclusão de cada tinta, foram realizados vários métodos de rotina de forma a obter conclusões sobre o efeito das cargas e pigmentos com maior opacidade

As resinas estireno-acrílicas são as mais indicadas para a produção de tintas interiores devido à elevada resistência à esfrega húmida. Numa fase inicial utilizou-se uma resina estireno-acrílica, no entanto, ao substituir esta resina por uma resina copolímera baseada em acetato de vinilo e VeoVa (éster vinílico do ácido versático), os resultados obtidos foram melhorados.

De modo a ajustar propriedades como aplicabilidade, lacagem e opacidade introduziram-se aditivos de aplicabilidade e lacagem, e diferentes espessantes associativos, que resultaram numa melhoria da opacidade e restantes características, da tinta.

Após a conclusão da formulação, foi possível desenvolver uma tinta de monocamada, com todos os requisitos necessários, que garantem a fiabilidade e qualidade deste tipo de tinta.

Palavras-Chave: Tinta, Monocamada, Cargas, Pigmentos, Opacidade, Reologia.

Abstract

In the scope of this dissertation, carried out in the company Tintas 2000, a white aqueous monolayer paint was developed, with the objective of opacifying, protecting and making a homogeneous interior surface with only one coat.

Thus, from three reference paints and a base formulation from a supplier, it was formulated by varying extenders and pigments in order to verify the contribution of these to the coating power. After the completion of each paint, routine and exhaustive methods were carried out in order to obtain conclusions about the effects of the extenders pigments with the highest coating power.

Styrene-acrylic resins are the best suited for the production of interior paints due to the high wet scrub resistance. At the initial stage a styrene-acrylic resin was used, however, by replacing this resin with a copolymer resin based on vinyl acetate and VeoVa (vinyl ester of versatic acid) the results obtained were improved.

In order to adjust properties such as, applicability, levelling and opacity, applicability and levelling additives were introduced as well as different associative thickeners which resulted in a better paint opacity and other characteristics.

After the completion of the formulation, it was possible to develop a monolayer paint, with all the necessary requirements, which guarantee the reliability and quality of this type of paint.

Keywords: Paint, Monolayer, Charges, Pigments, Opacity, Rheology.

Índice

1. Estado da Arte	1
1.1 Definição e História	1
1.2 Composição da Tinta [4]	2
1.2.1 Veículo Fixo ou Resina [5]	2
1.2.2 Pigmentos [10]	6
1.2.3 Cargas [4]	9
1.2.4 Solvente e Diluente [4]	11
1.2.5 Aditivos [4]	12
2. Propriedades da tinta	17
2.1. PVC [13]	17
2.2. Reologia	18
2.2.1. Fluidos Newtonianos [15].....	19
2.2.2. Fluidos Não-Newtonianos [14]	21
2.3. Opacidade de Tinta Aquosa [15].....	24
2.3.1. Metodologia do poder de cobertura [15].....	28
2.3.2. Fatores que afetam o poder de cobertura dos pigmentos [15].....	29
3. Parte Experimental	31
3.1 Desenvolvimento da tinta [16]	31
3.2 Equipamento [16].....	33
3.3 Dispensor [16].....	33
3.4 Desenvolvimento da fórmula da tinta de monocamada	35
3.5 Métodos de Ensaio	39
4. Resultados e Discussão	41
4.1. Ensaio Realizados.....	41
4.2. Seleção do ensaio	46
4.3. Determinação da opacidade	47
4.4. Comparação das tintas referência e o ensaio aprovado ao nível da lacagem e aplicabilidade	50
4.5. Formulação otimizada	54
4.6. Comportamento reológico.....	59
4.7. Temperatura mínima de formação de filme	63
4.8. Resistência à esfrega húmida	65
4.9. Análise económica	68
5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	71

6. Bibliografia	75
Anexo A – Procedimentos Experimentais.....	77
A1 – Grau de Dispersão	77
A2 – Determinação da viscosidade Stormer	78
A3 - Determinação da massa volúmica de uma tinta	78
A4 - Determinação da razão de contraste de revestimentos.....	79
A5 – Resistência à fissuração (<i>Mud Craking</i>).....	80
A6 - Determinação da temperatura mínima de formação de filme	81
A7 - Determinação da resistência à esfrega húmida e à lavabilidade de um revestimento	84
Anexo B – Exemplos de Cálculo	91
B1 - Exemplo de cálculo (análise económica).....	91
1 – Acabamento Tradicional	91
2 – Acabamento Económico	93
B2 - Exemplo de cálculo (Esfrega Húmida)	94

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Uma pintura de caverna de carvão e ocre de Megaloceros de Lascaux, França [3].	1
Figura 1.2 - Esquema representativo dos constituintes de uma tinta.	2
Figura 1.3 -Constituintes presentes na polimerização em emulsão segundo Smith - Ewart – Harkins [7].	4
Figura 1.4 - Etapas de um processo de coalescência de uma dispersão aquosa [8].	6
Figura 1.5 - Exemplo de um dióxido de titânio.	7
Figura 1.6 - Representação da estrutura cristalina do dióxido de titânio rutilo [10].	8
Figura 1.7 - Representação da estrutura cristalina do dióxido de titânio anatase [10].	8
Figura 1.8 - Carta Leneta para medição de razão de contraste/opacidade.	9
Figura 1.9 - Funcionamento de um agente antiespuma numa película de tinta [5].	15
Figura 2.1 - Comportamento de um fluido colocado entre duas placas planas paralelas [14].	18
Figura 2.2 - Representação dos comportamentos newtonianos e não-newtonianos dos fluidos [15].	20
Figura 2.3 - Representação da curva tensão de corte vs taxa de deformação para fluidos pseudoplásticos [14].	23
Figura 2.4 -Variação da viscosidade com a taxa de deformação para fluidos newtonianos e pseudoplásticos [14].	23
Figura 2.5 - Representação da refração da luz e conseqüente variação da velocidade da mesma entre dois diferentes meios [12].	26
Figura 2.6 - Fenómeno de reflexão nas superfícies dos cristais de pigmento [15].	27
Figura 2.7 -Representação do substrato padrão para determinação do poder de cobertura e do substrato padrão após aplicação. [Fotos tiradas durante o estágio]	28
Figura 2.8 - Representação do filmógrafo para aplicação de um filme de tinta para determinação do poder de cobertura. (Fotos tiradas durante o estágio)	29
Figura 3.1 - Representação do vortex na produção de uma tinta. [Fotos tiradas durante o estágio]	31
Figura 3.2 - Representação dos diversos fluxos de matéria dentro da cuba [16].	32
Figura 3.3 - Dispensor Tintas 2000. [Fotos tiradas durante o estágio]	34
Figura 4.1 - Análise do efeito do PVC (%) na razão de cobertura (%) de uma tinta.	46
Figura 4.2 - Representação do suporte para a aplicação dos ensaios (Tintas 2000).	48

Figura 4.3 - Representação do painel após aplicação dos ensaios iniciais (1 ^a , 2 ^a e 3 ^a faixa da esquerda para a direita) juntamente com as tintas referência (4 ^a , 5 ^a e 6 ^a faixa da esquerda para a direita).	49
Figura 4.4 - Representação do painel após aplicação dos ensaios finais juntamente com as tintas referência.	50
Figura 4.5 - Avaliação da lacagem da tinta otimizada, tinta referência (P), Ensaio 29440/25, tinta referência (T) e tinta referência L, assim como o poder de cobertura das mesmas.	51
Figura 4.6 - Avaliação da lacagem da tinta referência (P) assim como o poder de cobertura.	52
Figura 4.7 - Avaliação da lacagem da tinta referência (P) assim como o poder de cobertura, vista de uma forma ampliada.	52
Figura 4.8 - Avaliação da lacagem do ensaio 29440/25, assim como o poder de cobertura, vista de uma forma ampliada.	53
Figura 4.9 - Aplicação do ensaio 29440/25 (faixa mais à esquerda), tinta otimizada, ensaio 29440/3 e tinta referência L (faixa mais à direita), respectivamente	59
Figura 4.10 - Representação do equipamento reológico HAAKE Viscotester iQ da empresa Tintas 2000.	59
Figura 4.11 - Avaliação dos comportamentos reológicos (viscosidade, mPa*s) em função da razão de corte (1/s).	60
Figura 4.12 - Avaliação, nos diferentes ensaios assinalados na legenda, do efeito do espessante associativo newtoniano.	62
Figura 4.13 - Representação dos ensaios da determinação da temperatura mínima de formação de filme de diversas tintas.	65
Figura 4.14 - Exemplo de aplicação de tinta em folha Leneta de PVC para ensaio de esfrega húmida.	67

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Poder de cobertura relativo para diferentes cargas e pigmentos. _____	27
Tabela 3.1 – Apresentação das características das tintas referência. _____	36
Tabela 3.2 - Lista de cargas (C) e pigmentos (P) testados. _____	36
Tabela 3.3 - Lista de cargas (C) e pigmentos (P) testados (continuação). _____	37
Tabela 3.4 - Lista de cargas (C) e pigmentos (P) testados (continuação). _____	38
Tabela 4.1 - Apresentação dos resultados obtidos das tintas de monocamada (Ensaio 1 - 8). _____	41
Tabela 4.2 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 9 - 15). _____	41
Tabela 4.3 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 9 - 15) (continuação). _____	42
Tabela 4.4 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 16 - 22). _____	42
Tabela 4.5 – Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 16 - 22) (continuação). _____	43
Tabela 4.6 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 23 – 29532/5). _____	43
Tabela 4.7 – Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 23 – 29532/5) (continuação). _____	44
Tabela 4.8 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 29532/6, 29532/7, otimização, Tinta P, L e T. _____	44
Tabela 4.9 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 29532/6, 29532/7, otimização, Tinta P, L e T (continuação). _____	45
Tabela 4.10 - Apresentação da formulação otimizada obtida pelo método Solver. _____	55
Tabela 4.11 - Apresentação da formulação otimizada obtida pelo método Solver (continuação). _____	56
Tabela 4.12 - Apresentação da formulação otimizada obtida pelo método Solver (continuação). _____	57

Tabela 4.13 - Apresentação das características obtidas da tinta otimizada.	57
Tabela 4.14 - Apresentação das características obtidas da tinta otimizada (continuação).	58
Tabela 4.15 - Resultados obtidos das temperaturas mínimas de formação de filme (TMFF) das tintas consideradas.	64
Tabela 4.16 - Resultados obtidos, para cada uma das tintas, da perda de espessura de filme seco (μm) e classificação de cada ensaio.	66

Definições e Abreviaturas

Absorção de óleo – Quantidade de óleo necessário para molhar 100 g de pigmento, sob determinadas condições de ensaio, de forma a obter uma pasta convenientemente ligada.

Tg- Glass transition temperature.

TMFF- Temperatura mínima de formação de filme.

MFFT – Minimum film forming temperature

TMP – Tamanho médio de partícula.

KU – Krebs Units.

Ldft – Loss of dry film thickness.

Cv – Cavalo-vapor.

CMC – carboximetilcelulose.

HEC – hidroxietilcelulose.

MC – metilcelulose.

EHEC – hidroxietilcelulose.

1. Estado da Arte

1.1 Definição e História

Uma tinta é uma substância que se pode apresentar no estado líquido, sólido ou num estado pastoso/viscoso. É aplicada, tal e qual é fornecida ou após diluição, sobre uma superfície, que posteriormente seca e resulta num filme protetor, decorativo, sólido e contínuo [1].

Há cerca de 30 000 anos apareceu pela primeira vez este composto, em que os autores eram os moradores das cavernas. Estes usavam a tinta de forma a representar e a marcar as suas vidas em rochas e paredes onde habitavam. Assim, devido a esta atividade, surgiu o que designamos hoje por “pinturas rupestres” [2].

Estas pinturas rupestres desenhadas, utilizando óxido de manganês, ocre vermelho e amarelo, hematita e carvão podem ter sido efetuadas pelos *Homo sapiens*. Na figura 1.1 está representado um exemplo de uma pintura da antiguidade [2].

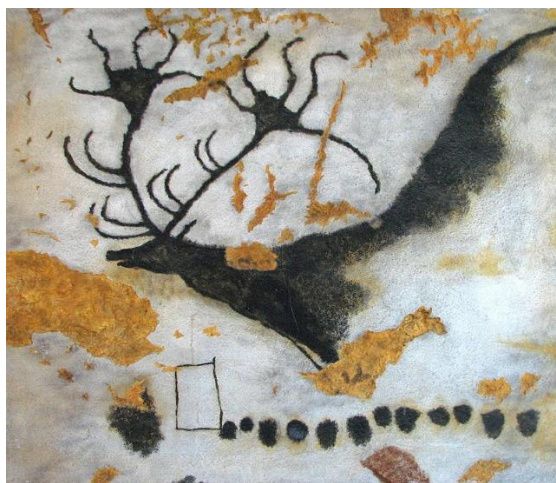


Figura 1.1 - Uma pintura de caverna de carvão e ocre de Megaloceros de Lascaux, França [3].

Primitivamente, a tinta era feita com gema de ovos, substância que depois de seca aderiria à superfície a que era aplicada. O pigmento era feito através de uma moição e mistura de plantas, areia e diferentes solos. Geralmente, as tintas usavam como solvente de mistura, água ou óleo [3].

A revolução industrial promoveu uma evolução na indústria das tintas, com o aparecimento de máquinas que possibilitaram a produção em massa de tintas, com melhor qualidade e custo mais reduzido [3].

1.2 Composição da Tinta [4]

Essencialmente qualquer tipo de tinta é constituída por resinas ou veículo fixo, pigmentos, cargas, solventes e aditivos (figura 1.2). Nos casos em que não inclui pigmentos trata-se de uma base incolor. Existem casos particulares que levam à não utilização de alguns destes constituintes.

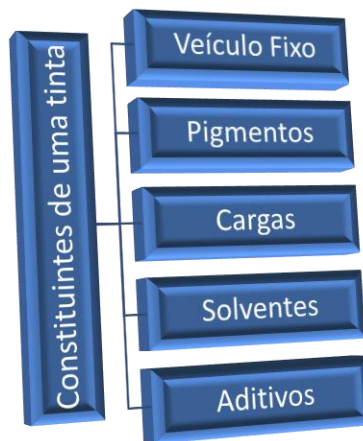


Figura 1.2 - Esquema representativo dos constituintes de uma tinta.

De seguida segue-se uma descrição detalhada de cada constituinte de uma tinta.

1.2.1. Veículo Fixo ou Resina [5]

A norma, ISO 4618:2014 – Termos e definições, define resina como o produto macromolecular, geralmente amorfo, de consistência que varia entre o estado sólido e o estado líquido com uma massa molecular relativamente baixa.

Resina ou veículo fixo é o composto que numa tinta, é responsável pela formação do filme de tinta. Este promove a envolvimento dos pigmentos e é responsável pela maioria das características de uma tinta, nomeadamente: tempo de cura, rigidez, brilho, resistência exterior, flexibilidade e tenacidade.

As resinas podem ser de duas bases diferentes, base aquosa e base solvente. No caso da base aquosa o meio solvente é a água, enquanto que nas resinas de base solvente o composto é solvente. As diversas matérias primas presentes numa tinta acabam por interagir química ou fisicamente com a resina proporcionando assim no final uma película com as características pretendidas.

As resinas aquosas podem-se dividir em 3 grupos: emulsões aquosas, resinas solúveis em água e dispersões aquosas, esta última é o tipo de resina utilizada na presente dissertação.

➤ **Dispersões Aquosas [6]**

No caso particular, desta dissertação, a resina utilizada corresponde a uma dispersão aquosa.

A polimerização em emulsão trata-se de uma polimerização direta no meio aquoso, em que os monómeros formam a cadeia no meio em que será fornecida, enquanto que, a outra forma é a distribuição num meio (aquoso neste caso) de um polímero em solução.

De modo a formar o polímero numa dispersão aquosa é necessário estarem presentes 4 compostos: a fase aquosa, monómeros, iniciadores e emulsionantes.

○ **Fase Aquosa**

Nas dispersões a fase aquosa representa cerca de 40-60% da dispersão. Esta fase tem como função, não ser só o meio para emulsionar o polímero, como também de dissipar o calor de reação.

○ **Monómeros**

Os monómeros mais utilizados na indústria das tintas são acrílicos, vinílicos, estireno, butadieno, entre outros. São fornecidos em forma de polímeros em dispersão sendo os mais comuns:

- Estireno-Acrílicas (resina utilizada ao longo do decurso da dissertação);
- Vina/VeoVa (resina utilizada ao longo do decurso da dissertação);
- Vina/Acrilato;
- Acrílicas puras e baseadas em ésteres dos ácidos acrílico e metacrílico.

○ **Iniciadores**

A conversão de monómero em polímero inicia-se com a decomposição, por aumento da temperatura, dos peróxidos de hidrogénio e persulfatos, mais usualmente utiliza-se persulfato de amónio e persulfato de sódio. Estes funcionam como catalisadores da reação de polimerização. A quebra das ligações carbono-carbono do monómero dá origem a radicais. O catalisador, que possui 2 átomos de oxigénio, é decomposto devido ao aumento da temperatura criando, de igual modo, radicais que se vão ligar aos radicais do monómero.

○ **Emulsionantes**

Os emulsionantes são constituídos por uma parte hidrofílica e uma parte hidrofóbica, podendo ser aniónicos (se estiverem carregados negativamente) ou não iónicos (se não possuírem qualquer tipo de carga). Estes organizam-se de forma que a parte hidrofílica esteja voltada para o lado da água e a parte hidrofóbica voltada no sentido inverso, para si mesma, formando as micelas.

Na figura 1.3, estão representadas as formas em que o monómero se encontra, sendo elas em micelas recobertas por tensioativos e em gotículas de monómero emulsionadas.

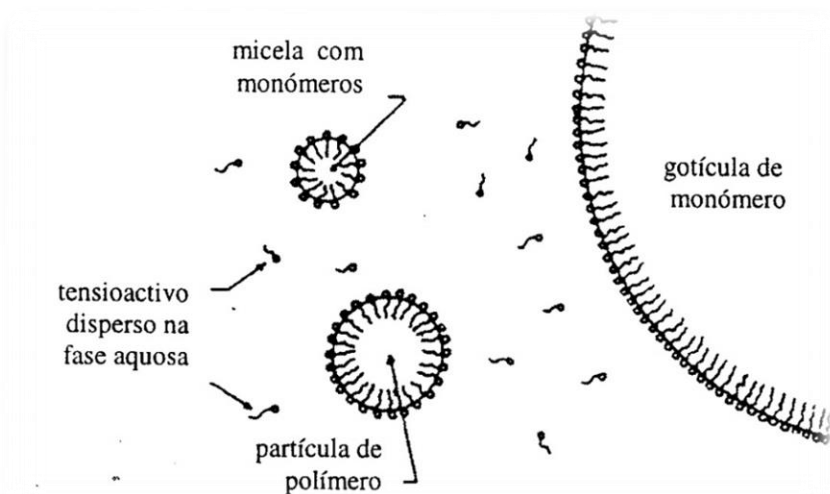


Figura 1.3 -Constituintes presentes na polimerização em emulsão segundo Smith - Ewart – Harkins [7].

Dada a maior quantidade de micelas de monómero comparativamente com as gotículas de monómero verifica-se uma maior área superficial por parte das micelas do que as gotículas, o que podemos concluir que a polimerização se dá nas micelas e não nas gotículas. A terminação da reação de polimerização ocorre quando os tensioativos deixam de estar disponíveis no meio para recobrir as micelas e estas desaparecem.

Nesta fase de terminação deixa-se arrefecer e completa-se a fórmula com a adição dos antiespuma, conservantes, entre os demais aditivos finais.

A escolha da resina para uma dispersão aquosa é uma etapa crítica, pois, as características físico-químicas da resina têm de ser capazes de atingir as propriedades desejadas de uma tinta. De modo a atingir este fim, conjugam-se diferentes monómeros para colmatar eventuais falhas que um só monómero tenha, por exemplo o acetato de vinilo por si só polimeriza formando materiais duros e quebradiços, contudo, ligado com dimetil maleato a elasticidade do polímero aumenta consideravelmente reduzindo também a dureza do mesmo.

➤ **Formação de filme das resinas aquosas**

Outra característica das tintas de base aquosa que difere das tintas de base solvente é a secagem.

A formação de filme, representado na figura 1.4, é um mecanismo complexo, baseia-se numa situação posterior à aplicação. A percentagem de água vai ser reduzida através da secagem, que se baseia na evaporação da mesma na superfície pelicular da tinta e em profundidade na película através da absorção do substrato. Este acontecimento provoca uma diminuição da distância entre as partículas esféricas do polímero [8].

Com a redução do teor de água, as partículas esféricas de polímero vão ocupar o volume vazio gerado pela libertação da água. Este fenómeno aproxima as partículas de polímero umas das outras. A força motriz para a deformação das partículas esféricas de polímero tem sido atribuída às tensões de cisalhamento criadas pela tensão superficial na interface ar-água [9].

Com o aproximar das partículas de polímero criam-se forças intermoleculares que são necessárias combater para a formação do filme ser possível. Dito isto, a solução é utilizar coalescentes, solventes com afinidade para o polímero de modo a reduzir estas forças criadas, ajudando assim às partículas de polímero a unir-se e a formar filme a temperaturas mais baixas. Devido ao elevado ponto de ebulição, estes coalescentes saem do filme de tinta lentamente evitando deste modo à formação de fissuras [9].

Seguidamente a água existente migra até à superfície da película devido a um efeito de capilaridade resultante da sua tensão superficial. Consequentemente atinge-se um ponto crítico no que diz respeito à distância entre partículas e é atingido a fase de coalescência,

onde as partículas sólidas estão unidas formando um filme de tinta uniforme e contínuo [8].

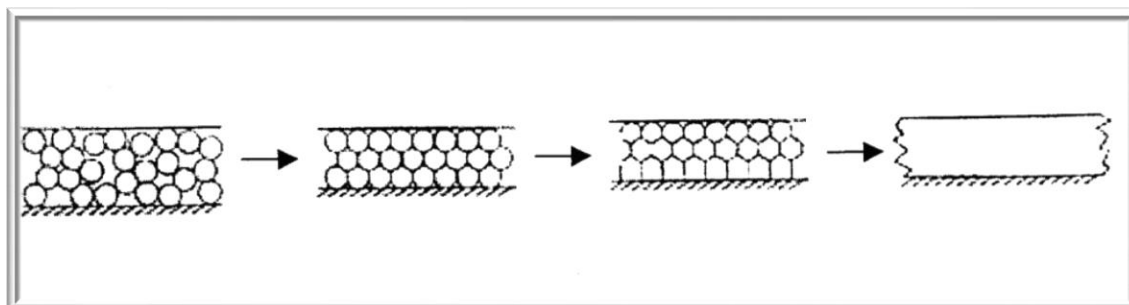


Figura 1.4 - Etapas de um processo de coalescência de uma dispersão aquosa [8].

Este fenómeno só ocorre quando a temperatura ambiente é superior à temperatura de transição vítrea (T_g). Por outro lado, caso a temperatura ambiente seja muito inferior à T_g não se forma um filme contínuo pois as partículas do polímero ficam excessivamente duras para permitir a sua fusão, apresentando consequências nas propriedades mecânicas e químicas da película. [9].

Deste modo, é então necessário controlar a temperatura mínima da formação do filme de tinta. É importante que a tinta apresente uma gama de temperaturas de coalescência de extremos, isto é, que confira a capacidade de coalescer tanto a temperaturas elevadas como em baixas, de forma a poder a formar um filme de tinta seco tanto em regiões de temperaturas baixas como altas [9].

A temperatura mínima de formação de filme (TMFF) deve ser então reduzida até à temperatura mínima de 5 °C ou até abaixo desta utilizando para isso os designados coalescentes [8].

1.2.2 Pigmentos [10]

Os pigmentos são partículas granulares, praticamente insolúveis que conferem cor à tinta, uma vez que, fazem uma absorção seletiva da radiação. Podem também conferir outras propriedades tais como, opacidade, textura, durabilidade, resistência à corrosão, entre outras.

Os pigmentos evoluíram ao longo dos anos em relação à variedade, qualidade e quantidade dos mesmos. Nos primórdios os pigmentos utilizados eram o carvão (obtenção da cor preta) e o carbonato básico de chumbo (obtenção de brancos e cores terra coradas).

Com o avanço da tecnologia e da ciência os pigmentos começaram a ser sintetizados. O primeiro pigmento sintetizado foi o silicato de cobre (pigmento azul), através de um processo catalítico com controle de temperatura e tempo da reação.

A partir deste momento ocorreu a revolução industrial de pigmentos, em que foram sintetizados uma imensidade de pigmentos destacando-se de todos os outros o dióxido de titânio descoberto em 1919. Este pigmento revolucionou a indústria dos pigmentos devido à sua capacidade de cobertura, pela sua inércia química e compatibilidade tanto para tintas base aquosa e base solvente, sendo o pigmento mais usado até aos dias de hoje inclusive. O dióxido de titânio, representado na figura 1.5 apresenta-se sob duas formas: rutilo e anatase, sendo o rutilo o mais utilizado. Estes apresentam a seguinte estrutura representada na figura 1.6.



Figura 1.5 - Exemplo de um dióxido de titânio.

Mundialmente o pigmento mais consumido é o dióxido de titânio. E cerca de 60% da produção de dióxido de titânio é destinada para a indústria de tintas.

O dióxido de titânio rutilo é o responsável por dispersar mais eficientemente a luz que por consequência proporciona a uma maior opacidade, como se explica mais à frente.

O dióxido de titânio anatase é um pigmento mais abrasivo. A diferença entre estes dois está na estrutura cristalina em que estes dois cristalizam.

Ambos cristalizam numa estrutura cristalina tetragonal, contudo variam na estabilidade da sua estrutura (Figuras 1.6 e 1.7):

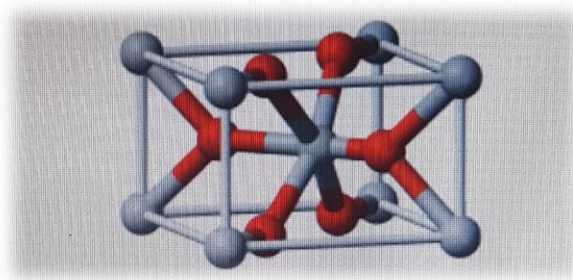


Figura 1.6 - Representação da estrutura cristalina do dióxido de titânio rutilo [10].

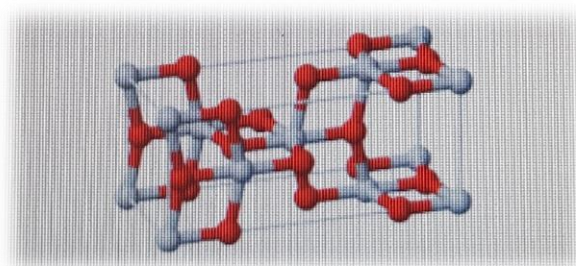


Figura 1.7 - Representação da estrutura cristalina do dióxido de titânio anatase [10].

O dióxido de titânio rutilo possui uma maior durabilidade do que dióxido de titânio anatase. Este fator torna-o muito mais importante e utilizável comparativamente com o dióxido de titânio anatase na indústria das tintas.

➤ **Propriedades dos Pigmentos [4]**

Os pigmentos são os principais responsáveis por um conjunto de características, tais como:

○ **Cor**

O pigmento, devido à sua capacidade de absorção de um determinado comprimento de onda da radiação, altera a cor da luz transmitida.

○ **Facilidade de dispersão**

De forma a conseguir o máximo de rendimento possível do pigmento é bastante importante que exista uma excelente dispersão do pigmento no veículo fixo. As propriedades da tinta, como as propriedades óticas, brilho, entre outras propriedades, são também garantidas e prolongadas com uma boa dispersão dos pigmentos.

Na dispersão do pigmento existe um ponto ótimo da dispersão, fase em que cada partícula de pigmento se encontra completamente envolvida por resina e não aglomerada a outras partículas de pigmento.

○ Poder de Cobertura

Capacidade de anular o efeito de uma ou mais cores de um substrato. Também designado por razão de contraste, este método baseia-se numa aplicação de espessura de 100 μm de tinta sob uma superfície em branco e outra em preto de uma carta de cobertura, representada na figura 1.8. Para assegurar que a tinta possua a capacidade de cobertura total não se deve distinguir o contraste entre as duas partes do substrato.

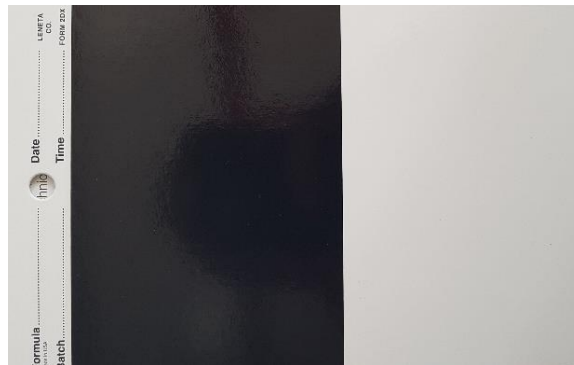


Figura 1.8 - Carta *Leneta* para medição de razão de contraste/opacidade.

Os pigmentos são os principais responsáveis pela opacificação, isto sucede uma vez que, os pigmentos brancos têm uma elevada capacidade de difratar a luz. Os dois fatores que mais influenciam esta capacidade são o tamanho de partícula do pigmento e o índice de refração entre o pigmento e a resina usada na tinta. Quanto maior for a diferença do índice de refração entre o meio e o pigmento, maior é o poder de cobertura obtido.

Dito isto, o dióxido de titânio, entre todos os pigmentos brancos, é o que apresenta maior índice de refração e conseqüentemente apresenta maior opacidade. Relativamente à dimensão da partícula, de forma a obter o valor mais elevado de opacidade, o diâmetro do pigmento tem de estar compreendido entre valores ótimos de tamanho de partícula, ou seja, entre 200 a 400 nanómetros juntamente com a sua distribuição de tamanhos o mais estreita possível. Só assim reunimos as condições para atingir uma opacidade ótima.

1.2.3 Cargas [4]

As cargas são partículas sólidas de diferentes granulometrias e diferentes formatos.

Proporcionam coberturas inferiores aos pigmentos, mas têm uma grande vantagem na indústria de tintas, que é o facto de facultarem volume, a um custo bastante baixo.

Tem influência noutros aspetos de uma tinta, na medida que, interfere no brilho, dureza, permeabilidade, entre outros.

Algumas das cargas mais utilizadas no fabrico de tintas são:

- **Carbonato de Cálcio**

O carbonato de Cálcio é a carga mais utilizada na indústria de tintas, de baixo custo e reduzido poder de cobertura. Apresenta-se numa estrutura cúbica, podendo ter diferentes granulometrias de 1 a 4 μm ou até 15 μm . Estas partículas de menor dimensão tendem a colmatar os espaços entre as partículas do dióxido de titânio de forma a melhorar as propriedades óticas da tinta. São partículas com baixos coeficientes de absorção de óleo e com pH entre 9-10.

- **Talco ou silicato de magnésio**

O silicato de magnésio apresenta uma estrutura lamelar proporcionando à película final da tinta um toque suave melhorando também a lixabilidade dos produtos. Também permite reduzir o brilho e apresentam ainda um comportamento anticorrosivo, uma vez que este na película de tinta apresenta-se como uma barreira à difusão da humidade e poluentes, reforçando as propriedades mecânicas da mesma. É uma carga quimicamente inerte, que possui índices de absorção de óleo médios, entre os carbonatos e os caulinos. Reduz a tendência de formação de fissuras, apresenta também alguma influência na reologia da tinta reduzindo a sedimentação.

- **Sílica e Silicatos (Caulinos)**

A sílica e silicatos apresentam uma estrutura lamelar em forma de losango que possui locais eletronicamente ativos tanto nas faces como nas arestas. Por estes motivos as partículas tendem a unir-se e a formar uma estrutura tridimensional permitindo assim obter um comportamento anticorrosivo devido à barreira que forma. Ao nível da sedimentação da tinta introduz tixotropia evitando, portanto, a sedimentação das cargas e pigmentos.

Esta carga pode estar sob a forma anidra ou hidratada, sendo a primeira de dimensão entre 1 a 2,5 μm e conferem brilhos mais elevados assim como absorções de óleo mais elevadas. No caso da forma hidratada possui dimensões entre 0,25 e 5 μm e permite uma maior opacidade permitindo reduzir a quantidade de dióxido de titânio e consequentemente o custo, uma vez que o preço do dióxido de titânio é superior.

- **Farinha de Sílica**

A farinha de sílica proporciona à tinta uma maior resistência à abrasão e à esfrega devido à sua elevada dureza. É indicada para o fabrico de tintas texturadas em conformidade com as suas granulometrias.

- **Mica**

Tal como os caulinos, a mica apresenta estrutura lamelar e funciona também como uma barreira à difusão da humidade e oxigénio. Provocam nos revestimentos uma maior resistência à fissuração e do ponto de vista económico são usadas nas tintas para reduzir o seu custo.

- **Óxido de zinco**

O óxido de zinco é uma carga com propriedades relevantes, como a resistência a bolores, bloqueador de manchas e excelentes propriedades anticorrosivas. É utilizado principalmente em tintas para exterior.

1.2.4 Solvente e Diluente [4]

Os solventes e diluentes são os veículos voláteis de uma tinta. Os solventes são responsáveis tanto por dissolver a resina como por dissolver e dispersar as cargas e pigmentos. O diluente é também um veículo volátil, trata-se de um conjunto de solventes, com a propriedade de baixar a viscosidade de uma tinta, uma vez que, para a aplicação é necessário atingir uma viscosidade ótima de forma a melhorar a aplicação ao nível da lacagem.

Portanto, o objetivo da utilização do diluente é dissolver o veículo fixo e a dos diluentes é reduzir a viscosidade da tinta de forma a sua aplicação ser a melhor possível e a velocidade de secagem ser a indicada.

A escolha do solvente e do diluente a introduzir numa tinta, tem de ser cuidadosa e têm de ser solventes e diluentes compatíveis com o tipo de resina em causa.

1.2.5 Aditivos [4]

Os aditivos são substâncias que fazem parte de uma tinta em pequenas quantidades, normalmente inferior a 5%, que dão características particulares a uma tinta. Existe uma imensidão de aditivos que se podem introduzir numa tinta, dos quais se destacam:

➤ **Biocidas**

Os biocidas são introduzidos nas tintas aquosas de modo a preservar a mesma. Devido à natureza de uma tinta aquosa favorecer o meio ideal ao crescimento de bactérias e fungos utilizam-se estes aditivos biocidas que evitam o desenvolvimento destes organismos. Adicionam-se também fungicidas/algicidas que protegem a tinta após a formação da película. A ausência do biocida pode comprometer o desempenho da película de tinta devido ao crescimento de organismos que a deterioram.

➤ **Agentes Espessantes**

Os agentes espessantes têm um impacto direto na reologia da tinta uma vez que alteram a sua viscosidade, reologia e conseqüentemente a sua aplicabilidade.

Numa tinta existem cargas e pigmentos que possuem massas volúmicas bastante superiores à massa volúmica dos restantes constituintes podendo precipitar, formando um depósito que só é possível remover, de modo a ter a tinta novamente num estado homogéneo, com agitação da mesma.

Existem diferentes tipos de espessantes, tais como:

○ **Espessantes associativos**

Os espessantes associativos que apresentam um comportamento mais próximo do newtoniano, ou seja, a tensão de corte é diretamente proporcional à taxa de deformação.

Estes espessantes têm um comportamento mais próximo do newtoniano do que os espessantes celulósicos.

São capazes de associação com os polímeros e partículas de pigmentos presentes na tinta, que apesar de apresentarem um peso molecular baixo, podem originar elevada viscosidade na tinta. Permitem oferecer à mistura um comportamento mais pseudoplástico ou mais newtoniano, possibilitando a formação de ajustes mediante a

necessidade. Podem ser de natureza acrílica ou poliuretânica, sendo deste tipo os que serão objeto de estudo.

○ **Espessantes celulósicos**

Os espessantes celulósicos são espessantes derivados da celulose, cujo mais comuns são:

- CMC – “carboximetilcelulose”
- HEC – “hidroxietilcelulose”
- MC – “metilcelulose”
- EHEC – “hidroxietilcelulose”

Estes espessantes têm a capacidade de espessar mais ou menos a tinta conforme o seu peso molecular. Quanto maior for o peso molecular do espessante maior o espessamento da tinta, podendo variar entre 15 e 100 000 mPA*s.

Os espessantes celulósicos devem ser introduzidos em velocidades de rotação do veio elevadas de modo a criar um vórtex, uma vez que os espessantes celulósicos tendem a formar grumos, caso sejam introduzidos com velocidades baixas de rotação.

➤ **Modificadores de reologia**

Estes aditivos influenciam bastante a reologia da tinta, permitindo obter excelentes comportamentos para diferentes situações. Para elevadas razões de corte (durante a aplicação) apresenta valores de viscosidade baixos, o que facilita a aplicação do produto. Para valores baixos de razão de corte (durante o armazenamento) apresenta viscosidades elevadas o que previne a sedimentação das cargas e pigmentos da tinta e até mesmo a formação de escorridos.

Os aditivos tixotrópicos influenciam a viscosidade quando a razão de corte apresenta valores intermédios ou baixos, e nesta zona de valores o agente tem influência sobre o espalhamento, sedimentação e o escorrer de uma tinta.

➤ **Molhantes e dispersantes**

Como já referido o dióxido de titânio é extremamente importante na indústria das tintas devido à sua capacidade de opacificação. De forma a conseguir uma opacidade ótima é necessário otimizar o tamanho da partícula, o índice de refração entre o pigmento e o ligante assim como a boa dispersão dos pigmentos levam a que seja possível obter opacidades mais elevadas mantendo a quantidade de pigmento. As partículas de pigmento

devem então estar completamente dispersas em todo o tempo de vida do produto, desde a fase de fabrico até à fase de aplicação.

A dispersão do pigmento dá-se em 3 fases: fase de moagem, fase de dispersão e fase de molhagem. Na fase de moagem ocorre a desagregação dos aglomerados de pigmento. Por sua vez, na fase de dispersão os aglomerados de menores dimensões separam-se, dado que existem forças de atração superficial entre partículas. Os aglomerados possuem no seu interior ar que, durante a fase de moagem e dispersão, liberta-se expondo assim as partículas ao envolvimento com a resina, fase de molhagem.

Os agentes dispersantes são polieletrólitos, que são importantes para uma tinta quer ao nível do brilho quer ao nível do poder ligante e até mesmo na estabilidade de armazenamento.

Os dispersantes ao atuarem na molhagem, envolvem e carregam estas partículas com cargas elétricas para a dispersão eficaz dos pigmentos, visto que, as superfícies das partículas estão fortemente carregadas eletricamente designados de polieletrólitos, como polifosfatos e derivados de ácidos policarboxílicos. Estes são adsorvidos na superfície do pigmento transferindo a sua carga para a superfície do pigmento. Cargas carregadas de forma igual, repelem-se, evitando assim problemas como floculação.

➤ **Agentes Antiespuma [4]**

A espuma trata-se basicamente de duas fases, uma fase líquida e outra gasosa em que esta última está dissolvida na fase líquida.

Este aditivo tem a funcionalidade de penetrar a película da bolha de espuma e distribuir-se no seu interior continuamente, de modo a levar a rotura da mesma bolha.

A viscosidade é um parâmetro que tem influência direta com a espuma. Uma tinta se for demasiadamente viscosa, durante o período de secagem, todo o ar dissolvido que exista na película vai sofrer uma maior resistência à sua libertação. Em situações de elevada viscosidade, a libertação do ar é demorada e quando o ar atinge a zona superficial da película de tinta, esta pode já estar seca originando uma espécie de picotado prejudicando a qualidade do acabamento.

O objetivo durante a aplicação de uma tinta é que o ar dissolvido na mesma se liberte o mais rapidamente possível e o produto tenha o acabamento pretendido, sem qualquer

defeito na película seca. Na figura 1.9, está representado o comportamento de um aditivo antiespuma na película de tinta



Figura 1.9 - Funcionamento de um agente antiespuma numa película de tinta [5].

O ar dissolvido na tinta surge por algumas razões, das quais, a inevitabilidade do ar introduzido durante a mistura dos componentes da tinta, constituintes da tinta possuem ar incorporado nas suas partículas, no enchimento da tinta, entre outras.

O uso destes aditivos por vezes é utilizado em duas fases durante o processo de fabrico da tinta, incorpora-se uma parte na fase prévia à introdução das cargas e pigmentos, e a restante na fase de acabamento da tinta, de modo a tirar o maior rendimento possível deste aditivo. Os aditivos são imiscíveis com a água e atuam na interface tinta-ar, ou seja, no local de formação de espuma, na parte superior da película.

2. Propriedades da tinta

Em consequência da utilização de diferentes matérias primas na formulação de uma tinta, as tintas terão diferentes propriedades que são descritas seguidamente.

2.1. PVC [13]

O PVC, concentração de volume de pigmento, define-se pela relação entre a soma do volume de cargas mais pigmentos e a soma entre cargas, pigmentos e ligante. Traduzida pela equação 2.1.

$$PVC (\%) = \frac{V_{pigmentos} + V_{cargas}}{V_{resina} + V_{pigmentos} + V_{cargas}} * 100 \quad (2.1)$$

É uma razão muito importante, uma vez que, permite controlar propriedades como a viscosidade, estabilidade em armazenamento, poder de opacificação húmida, secagem, entre outras.

À medida que o PVC aumenta, a distância entre as partículas diminui e consequentemente, o número de partículas que se encontram nestas condições aumentam, logo a difração da luz que se obtém é cada vez menor.

O PVC crítico acontece quando a quantidade de ligante é a exatamente necessária para envolver e preencher todos os espaços entre todas as cargas e pigmentos. Quando se trabalha acima do PVC crítico, ocorre a situação de o ligante não ser suficiente para envolver as partículas de cargas e pigmentos, dando origem à criação de espaços preenchidos com ar, ou seja, porosidade. No entanto, este fenómeno contribui para a opacidade do filme de tinta, dado que, o ar possui um índice de refração de 1, a 20 °C, e quanto maior for a diferença entre o índice de refração entre o meio e o pigmento maior a opacidade do filme.

Para a situação de trabalhar abaixo do PVC crítico, a quantidade de ligante existente é mais do que suficiente para envolver cargas e pigmentos, resultando num filme de tinta muito mais resistente química e mecanicamente, mas com uma opacidade inferior devido à situação descrita no parágrafo anterior.

2.2. Reologia

A reologia é o termo científico que retrata o estudo da deformação e fluxo da matéria, mais concretamente o “estudo da resposta de certos materiais às tensões impostas neles”. De modo a quantificar a resposta às tensões aplicadas nos materiais é necessário definir 2 tipos de variáveis, a tensão de corte e a razão de corte [4].

A deformação é a alteração ou mudança na forma e/ou volume de um material devido à aplicação de uma tensão de corte no mesmo material. Este termo pode desmembrar-se em vários outros termos muito mais complexos. Contudo vamos cingir-nos a termos mais simples e importantes como o corte (cisalhamento) e a extensão. A deformação por cisalhamento consiste num acontecimento similar ao espalhamento de um baralho de cartas, em que as cartas são o nosso plano móvel colocado num plano fixo. Se uma força F for aplicada nos elementos mais afastados do plano fixo sobre uma determinada área (A) fica assim definido a tensão de corte, que se traduz pela razão entre uma força que é aplicado sobre uma determinada área [14].

Nesta mesma situação, por ação da força F o plano superior movimentar-se-á a uma velocidade v relativamente ao plano fixo. Então o material deforma-se, na mesma direção, pelo deslocamento dos elementos adjacentes do material com velocidades diferentes e valores que variam entre a velocidade máxima do plano superior e a velocidade nula do plano inferior, como está representado na figura 2.1 [14].

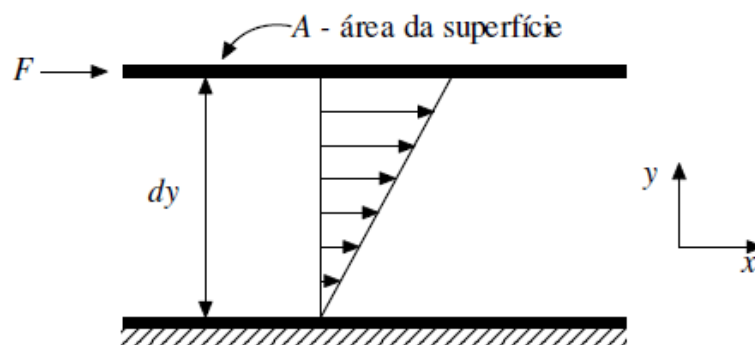


Figura 2.1 - Comportamento de um fluido colocado entre duas placas planas paralelas [14].

O gradiente de velocidade provém deste acontecimento entre o plano inferior até ao plano superior é uniforme entre estes dois planos podendo ser designado por razão de corte (γ)

e é igual a dv/dx , em que dv é a variação infinitesimal da velocidade e dx é a mesma variação da espessura [4].

Considerando estas duas variáveis definidas, tensão de corte e razão de corte, pode-se então definir uma outra variável da reologia, a viscosidade [4].

A viscosidade (η) trata-se da razão entre a tensão de corte (τ) e a razão de corte (γ), na equação 2.2 [4]:

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{v}{x}} = \frac{N*s}{m^2} \text{ ou } Pa * s \quad (2.2)$$

Onde:

F – Força [N];

A – Área [m²];

v – Velocidade [m/s];

x – Distância [m]

No de tintas, a viscosidade é um dos parâmetros mais importantes, pois a tinta não apresenta a mesma viscosidade em todas as situações. Através da equação 2.2 a viscosidade depende da tensão e razão de corte impostas num dado instante [4].

A viscosidade é uma medida da fricção entre as moléculas de fluxo do fluido ou da energia das ligações entre essas mesmas moléculas, porque a viscosidade de um fluido é característica da resistência ao fluxo. Desta forma, trata-se de um fluido ou tinta viscosa uma tinta que apresenta um elevado peso molecular ou trata-se de um fluido de baixo peso molecular, mas que apresenta ligações fortes intermoleculares [15].

2.2.1. Fluidos Newtonianos [15]

Os fluidos newtonianos apenas podem apresentar um tipo de comportamento reológico.

Este tipo de comportamento traduz-se por uma equação 2.3 ou 2.4:

$$\tau \propto \dot{\gamma} \quad (2.3)$$

Ou

$$\tau = \eta * \dot{\gamma} \quad (2.4)$$

Estas equações foram criadas por Isaac Newton, sendo dado o seu nome a este tipo de comportamentos dos fluidos. Através da equação 2.3, Isaac Newton concluiu que a taxa que se tenta separar as partes do fluido é diretamente proporcional à força que resiste ao movimento do líquido. A equação 2.4 é um modelo que permite prever o comportamento de um dado fluido após ter sofrido uma tensão.

A representação da tensão de corte em função da taxa de deformação é uma função linear e o declive da reta é característico para uma dada temperatura e pressão no momento do ensaio.

A viscosidade de fluidos newtonianos é afetada somente por variáveis termodinâmicas como, temperatura, pressão e concentração.

Na indústria das tintas fluidos com baixo peso molecular, dispersões de baixa concentração entre outros apresentam este tipo de comportamento.

Na figura 2.2 está representada alguns dos comportamentos possíveis de fluidos.

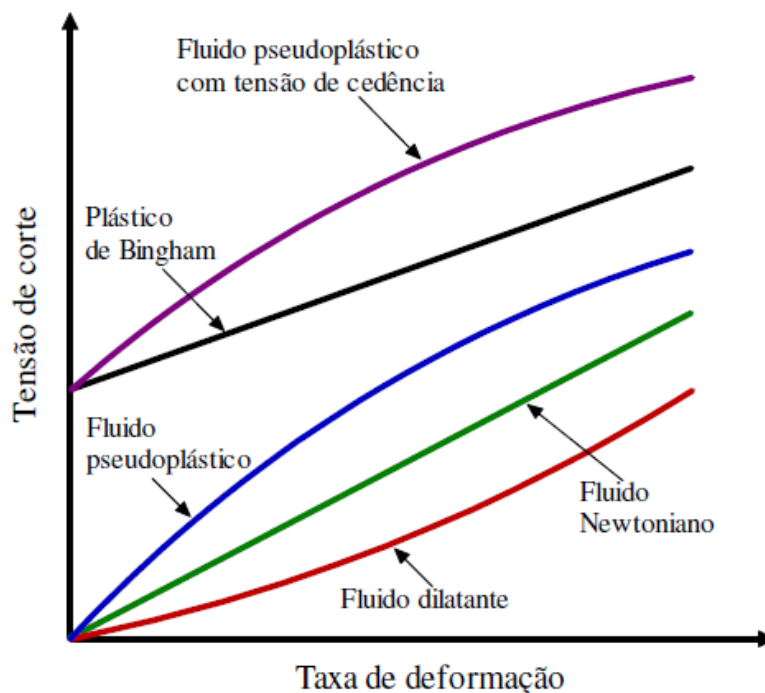


Figura 2.2 - Representação dos comportamentos newtonianos e não-newtonianos dos fluidos [15].

2.2.2. Fluidos Não-Newtonianos [14]

Todos os fluidos que apresentam um reograma, tensão de corte vs deformação, não linear ou que não passa pela origem correspondem a um outro grupo de comportamentos designado de fluidos não-newtonianos.

Neste tipo de comportamento dos fluidos, não se trata de um comportamento linear crescente ao longo do tempo designados de material contante, mas são designados de função material, isto porque, neste tipo de comportamentos, o comportamento do material é função da tensão de corte ou razão de corte.

A determinação da viscosidade para uma dada tensão de corte não é satisfatória, porque não é suficiente para fazer uma previsão do comportamento do material.

Neste tipo de comportamento estão presentes 3 subcomportamentos, dos quais, estão inseridos os viscoplásticos, pseudoplásticos e dilatantes.

A tinta monocamada, da presente dissertação, refere-se a um material que apresenta o tipo de comportamento não newtoniano, sendo um pseudoplástico.

Materiais como dispersões de partículas, coloides poliméricos e outras soluções poliméricas apresentam um comportamento pseudoplástico. Como a tinta monocamada é uma dispersão aquosa de partículas, logicamente pertence a este grupo de comportamentos.

A designação pseudoplástico corresponde ao comportamento de certos produtos em que a sua viscosidade diminui, ao passo que, a tensão de corte ou razão de corte aumenta.

Por outro lado, os fluidos dilatantes apresentam o comportamento oposto, à medida que a tensão de corte aumenta, a viscosidade do fluido aumenta, pois, o declive da reta tangente á curva em cada ponto aumenta. Ao contrário dos fluidos pseudoplásticos, na representação da tensão de corte em função da taxa de deformação, o declive da reta tangente à curva em cada ponto diminui. Para estes fluidos, por consequência, a viscosidade em função da taxa de deformação aumenta.

Os viscoelásticos e os pseudoplásticos com tensão de cedência, num estado inicial em que a tensão não é superior à tensão de cedência, os fluidos não entram em escoamento, podendo mesmo considerar-se sólidos em alguns casos. São fluidos que num estado de

repouso inicial não apresentam qualquer escoamento, somente quando se atinge um determinado valor de tensão de corte, designado de tensão de cedência (τ_0). É nesta tensão que os fluidos entram em regime de escoamento, para valores inferiores a esta tensão de cedência os fluidos consideram-se sólidos não tendo qualquer escoamento.

A partir do momento que a tensão de cedência é atingida o fluido começa a escoar podendo apresentar dois tipos de escoamento, um escoamento linear ou curvo, mas nunca passado pela origem, estas são as duas características que distinguem os viscoplásticos dos outros escoamentos.

Somente quando a tensão imposta no fluido iguala a tensão de cedência (τ_0) é que os fluidos entram em regime de escoamento, no caso dos viscoelásticos. Para os pseudoplásticos com tensão de cedência acontece a mesma situação diferindo apenas na tensão imposta. Esta tem que ser superior à tensão de cedência para entrar em escoamento.

Os fluidos não newtonianos podem dividir-se em 3 categorias:

- Fluidos independentes do tempo: a tensão de corte depende unicamente da variação da deformação;
- Fluidos dependentes do tempo: a tensão de corte varia no tempo para um mesmo valor de taxa de deformação;
- Fluidos viscoelásticos: são fluidos que têm diferentes propriedades, unem as propriedades elásticas de sólidos com as propriedades viscosas dos fluidos.

- **Fluidos independentes do tempo**

Estes fluidos podem ainda ser subdivididos em três categorias:

- Fluidos pseudoplásticos;
- Fluidos dilatantes;
- Fluidos viscoplásticos (pseudoplásticos com tensão de cedência, plásticos de Bingham e dilatantes com tensão de cedência).

- **Fluidos Pseudoplásticos**

Neste tipo de comportamento a tensão de corte aumenta menos do que se fosse linear, uma vez que, o declive da curva vai diminuindo progressivamente. Por consequência, a viscosidade será menor porque são diretamente proporcionais, a viscosidade e tensão de corte. Isto é possível verificar na seguinte figura 2.3.

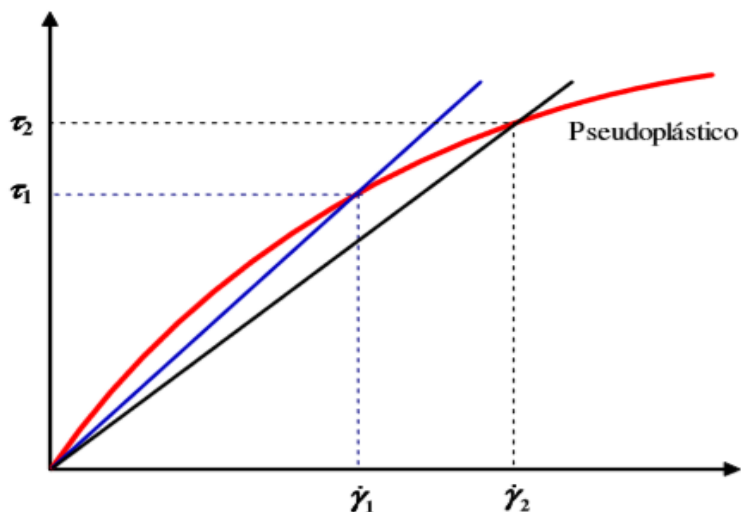


Figura 2.3 - Representação da curva tensão de corte vs taxa de deformação para fluidos pseudoplásticos [14].

Através das sucessivas tangentes ao longo da curva da tensão vs razão de corte é possível construir o gráfico viscosidade vs taxa de deformação, como na figura 2.4:

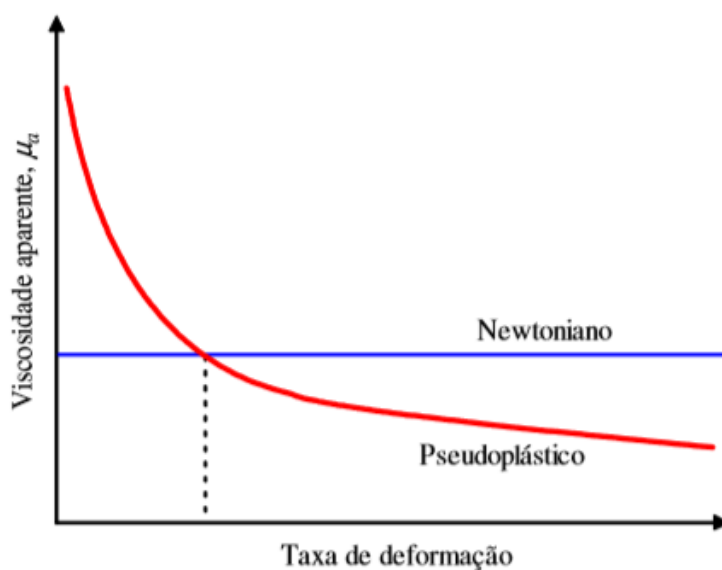


Figura 2.4 -Variação da viscosidade com a taxa de deformação para fluidos newtonianos e pseudoplásticos [14].

No caso de um fluido newtoniano a viscosidade é constante, ou seja é independente da taxa de deformação.

Um fluido pseudoplástico apresenta ao longo do seu perfil 3 fases distintas: uma fase inicial, *low shear*, para baixas razões de corte, uma fase intermédia, *médium shear*; e por fim *high shear*, para razões de corte elevadas.

Os fluidos pseudoplásticos caracterizam-se por apresentarem um comportamento semelhante à figura 2.4, com o incremento da razão de corte a sua viscosidade diminui segundo um perfil paralelo à figura 2.4. Isto acontece devido ao alinhamento estrutural das partículas de tinta que ao ficarem alinhadas vão criando cada vez menos resistência ao movimento, diminuindo assim a viscosidade com a razão de corte aplicada.

2.3. Opacidade de Tinta Aquosa [15]

Primeiramente pode-se definir o termo opacidade ou poder de cobertura, que se traduz ao nível quantitativo, na taxa de espalhamento necessária, para que o filme de tinta seja capaz de efetuar uma completa cobertura do substrato preto e branco padrão especificado.

Fenómenos como a absorção da radiação e reflexão da luz, são fatores que influenciam a opacidade de um filme de tinta.

A radiação luminosa incide no filme de tinta sendo absorvida e/ou refletida pelo mesmo filme. No caso da absorção da radiação, se a película de tinta possuir uma elevada absorção da radiação luminosa antes que esta atinja o substrato, consegue-se uma boa opacidade. Por outro lado, se a radiação que atinge a película é refletida sem atingir o substrato, o filme é branco ou de cor clara e apresenta uma boa cobertura do substrato. O fenómeno de reflexão da radiação envolve diversas refrações internas e reflexões que formam uma rede na sua direção que promove a opacidade do filme, conseguida neste caso pela dispersão da luz.

Assim se obtém melhores de valores de opacidade através de fenómenos luminescentes. Um filme que apresenta valores de absorção baixos e capacidade elevada de espalhar a radiação, maior radiação chega ao substrato logo menos cobertura tem a tinta porque mais informação colorimétrica do substrato chega aos nossos olhos.

➤ Método fotométrico

Este método fotométrico é um meio para quantificar a capacidade de cobertura da tinta.

Traçando uma curva espessura de filme em função da razão de contraste, esta, aproxima-se assintoticamente de uma razão de contraste = 1. Teoricamente não é possível encontrar um ponto em que a razão de contraste seja igual a 1, ou seja, com opacidade total. Na ciência das tintas, um valor de referência para uma opacidade elevada é de 98%

de razão de contraste. Este valor é aceite pois apresenta 2% de refletância impercetível ao olho humano.

➤ **Espessura de filme**

A espessura do filme é expressa em micrómetros (μm).

Existem 2 tipos de espessuras de tinta espessura de filme húmido e espessura de filme seco. Numa tinta existem substâncias voláteis que são expelidas da película de tinta quando esta se encontra na fase de secagem. Logicamente a espessura de filme seco é uma espessura menor, uma vez que as substâncias voláteis saíram da película.

Nesta mesma característica, que proporciona melhor opacidade a uma tinta, está envolvido uma outra característica designada de taxa de espalhamento que é inversamente proporcional à espessura de filme, de acordo com a equação 2.5:

$$\textit{taxa de espalhamento} = \frac{\textit{área coberta}}{\textit{espessura de filme}} \quad (2.5)$$

Ou seja, para baixas taxas de espalhamento temos maiores espessuras de filme e consequentemente maior opacidade.

➤ **Ligante e Pigmentos**

O ligante por si só, no filme de tinta, em nada contribui para a opacificação do filme, dado que, este forma um filme transparente e incolor, não absorvendo nem dispersando a radiação de um modo apreciável.

A opacidade de um filme de tinta recai quase totalmente sobre os pigmentos utilizados na constituição da tinta. Os pigmentos são partículas sólidas insolúveis que após a sua dispersão numa tinta confere-lhe diversas propriedades, sendo uma delas o poder de cobertura. Existem diversos tipos de pigmentos que absorvem diversas zonas do espetro, existindo assim pigmentos de diversas cores. Contudo o pigmento, como já referido, mais utilizado na indústria das tintas é o dióxido de titânio, trata-se de um pigmento branco, que pode por consequência absorver mal em todo o espetro da radiação visível.

➤ **Índice de refração**

A opacidade de uma tinta, que os pigmentos e algumas cargas proporcionam ao filme de tinta, baseia-se no índice de refração dos mesmos.

O índice de refração é uma mudança de direção quando a luz passa entre dois meios, nos quais a luz tem diferentes velocidades consoante os meios, como se constata na figura 2.5. A relação entre os ângulos de incidência e de refração é traduzida pela equação 2.6 (Lei de Snell):

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (2.6)$$

Sendo i e r os ângulos de incidência e de refração, respetivamente. O n é uma constante, designada de índice de refração que é a razão entre a velocidade da luz no meio incidente e a velocidade da luz no meio de refração.

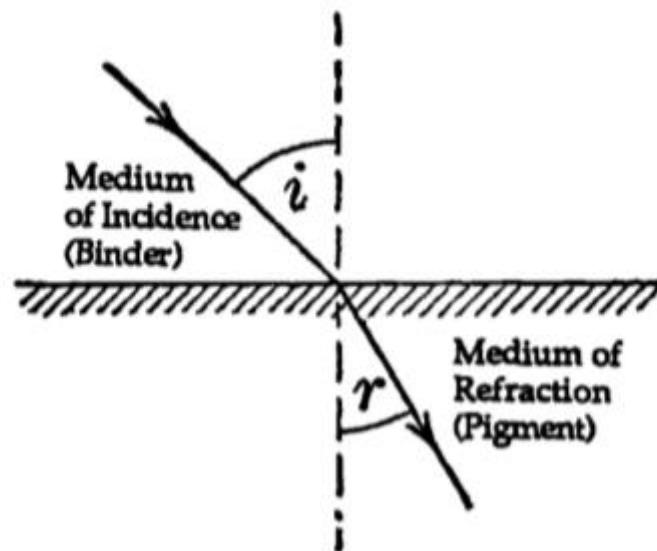


Figura 2.5 - Representação da refração da luz e conseqüente variação da velocidade da mesma entre dois diferentes meios [12].

Os pigmentos são partículas sólidas cristalinas, que podem cristalizar em diferentes estruturas, no presente caso, o dióxido de titânio utilizado nesta dissertação, trata-se de um dióxido de titânio rutilo que cristaliza numa estrutura tetragonal.

Os cristais de pigmento estão distribuídos uniformemente ao longo da película de tinta e a luz ao incidir sobre estes cristais vai ser, uma pequena parte, refratada. Contudo parte da luz vai ser refletida parcialmente na superfície e, tanto as refrações como as reflexões, vão existir dentro do mesmo cristal de pigmento. Estas atividades derivam então num fenómeno designado de dispersão da luz resultando assim, por conseqüência, a opacidade do filme e o poder de cobertura do filme de tinta devido ao efeito ótico que é criado. O fenómeno de reflexão da radiação está presente na figura 2.6.

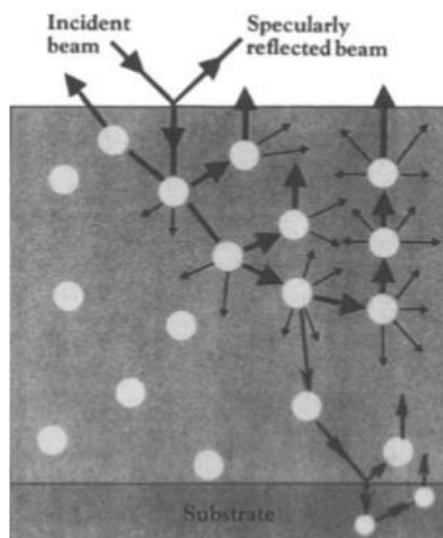


Figura 2.6 - Fenómeno de reflexão nas superfícies dos cristais de pigmento [15].

Na tabela 2.1, estão presentes alguns exemplos de índices de refração de alguns pigmentos e cargas em relação ao vácuo, como meio de incidência.

Tabela 2.1 - Poder de cobertura relativo para diferentes cargas e pigmentos.

Pigmentos/Cargas	Índice de Refração	Poder de cobertura relativo (%)
Dióxido de Titânio (Rutilo)	2,76	8,8
Dióxido de Titânio (Anátase)	2,55	6,7
Oxido de Zinco	2,37	5,0
Oxido de Zircônio	2,40	5,3
Litopone	1,64	1,0
Carbonato de cálcio	1,57	0,05
Silicato de magnésio	1,57	0,05
Silicato de alumínio	1,55	0,03
Sílica	1,55	0,30

As cargas apresentam como características um baixo índice de refração, com valores à volta de 1,5 e conseqüente baixa cobertura. Elas dispersam a luz de uma forma residual e são consideradas como transparentes, contudo indiretamente têm uma forte influência na dispersão e cobertura através de dois efeitos que ocorrem com as cargas, designados de

aglomeração e efeito seco. Para além disto, dão características ao filme de tinta no que toca ao brilho, consistência, viscosidade entre outras.

2.3.1. Metodologia do poder de cobertura [15]

De modo a determinar o poder de cobertura de uma tinta é necessário proceder de forma rigorosa e precisa.

Na prática, consiste em aplicar um filme de tinta uniforme num substrato padrão, como está representado na figura 2.7, para posteriormente quantificar o poder de cobertura fotometricamente. A aplicação do filme de tinta é efetuada com um filmógrafo (Figura 2.8), devidamente calibrado e de espessura de 100 μm , de modo a construir um filme de tinta uniforme em todo o substrato.

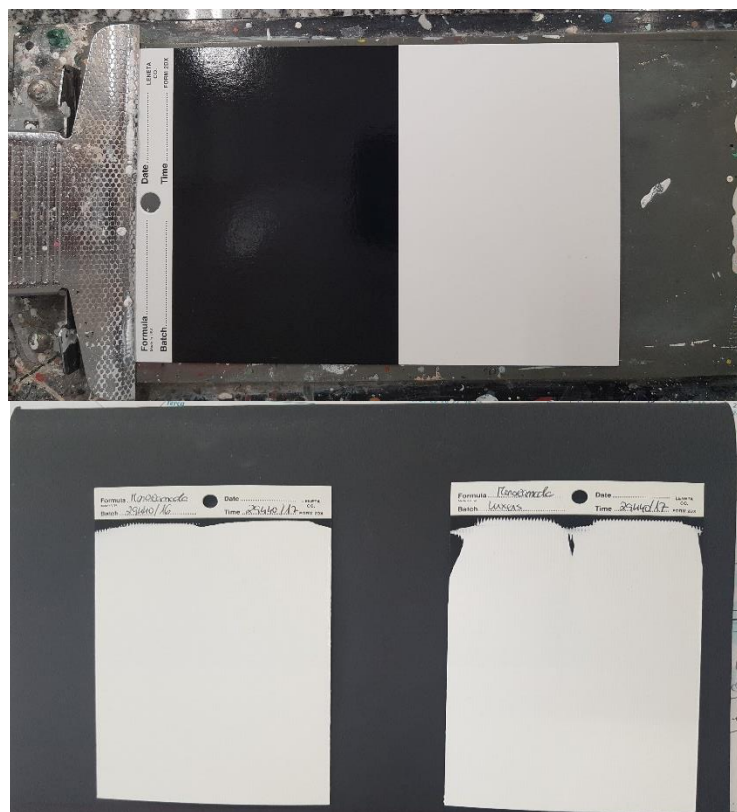


Figura 2.7 -Representação do substrato padrão para determinação do poder de cobertura e do substrato padrão após aplicação. [Fotos tiradas durante o estágio]



Figura 2.8 - Representação do filmógrafo para aplicação de um filme de tinta para determinação do poder de cobertura. (Fotos tiradas durante o estágio)

2.3.2. Fatores que afetam o poder de cobertura dos pigmentos [15]

Entre vários fatores que podem afetar o poder de cobertura dos pigmentos brancos destacam-se:

- Dimensão da partícula;
- Porosidade do filme.

2.3.2.1. Dimensão da Partícula [15]

À medida que a dimensão das partículas diminui, maior se torna o número de partículas, contribuindo para uma maior área de reflexão e refração dessas mesmas.

Existe assim, uma melhor contribuição na dispersão da luz e conseqüente cobertura do filme. Contudo se esta dimensão for cada vez menor, chega ao ponto do comprimento da partícula ser muito inferior ao comprimento de onda da luz. Deste modo, a radiação passa em volta da partícula e não através dela, inexistindo a dispersão da luz, falhando a otimização do poder de cobertura do filme.

Para encontrar o ponto ótimo de poder de cobertura da partícula de pigmento é necessário otimizar a dimensão da mesma, que ronda os 0,2-0,3 μm , uma vez que a radiação apresenta um comprimento de onda à volta dos 0,4-0,7 μm com um pico de luminosidade nos 0,55 μm .

2.3.2.2. Porosidade do filme [15]

A porosidade do um filme de tinta influencia o poder de cobertura do mesmo dado que, acima do PVC crítico, o filme seca. Como há um déficit de ligante, o ligante perde a capacidade de ligar todas as partículas de cargas e pigmentos e criam-se espaços entre as partículas de cargas e pigmentos onde estes espaços são preenchidos com ar aumentando a dispersão da luz pelos pigmentos porque diminui o índice de refração do meio envolvente.

Um poder de cobertura económico é conseguido à custa da porosidade, contudo a qualidade da película de tinta não é tão conseguida e a sua degradação, comparativamente com uma película de elevada qualidade, é mais acelerada devido à insuficiência do ligante no filme que impõe elevadas limitações químicas e mecânicas da película.

3. Parte Experimental

3.1 Desenvolvimento da tinta [16]

Inicialmente, no processo de fabrico de uma tinta plástica, pretende-se criar uma fase de gel através da junção da água com o espessante de celulose e uma parte do ligante. Quando necessário para obter mais volume de líquido, introduz-se também uma parte do antiespuma e um componente alcalino de modo a desenvolver a celulose. A combinação destas matérias primas permite criar um meio e uma elevada viscosidade de modo a melhorar posteriormente, a dispersão das cargas e pigmentos. Esta fase é designada por moagem ou dispersão. Toda esta fase inicial requer velocidades de rotação médias.

A fase intermédia é a fase de dispersão ou moagem. No início desta fase, o dispersante é introduzido e a velocidade de rotação do veio é aumentada de forma a que as forças de cisalhamento sejam tais que, ocorra a dispersão completa das cargas e pigmentos. Deve existir uma simbiose entre a posição do veio, mais elevada ou mais baixa, juntamente com a velocidade de rotação do veio de forma a criar um vórtex, como está representado na figura 3.1.



Figura 3.1 - Representação do vortex na produção de uma tinta. [Fotos tiradas durante o estágio]

O princípio de dispersão é influenciado pela velocidade com que o veio gira, devido à força centrífuga que se cria. As partículas aglomeradas são atraídas para o centro do vórtex o que faz com que choquem contra o disco dentado, que as projeta contra as paredes do meio envolvente, conjuntamente com um movimento de corte. A dispersão

dos pigmentos e cargas ocorre, devido aos diversos fluxos de matéria que ocorrem dentro da cuba (Figura 3.2).

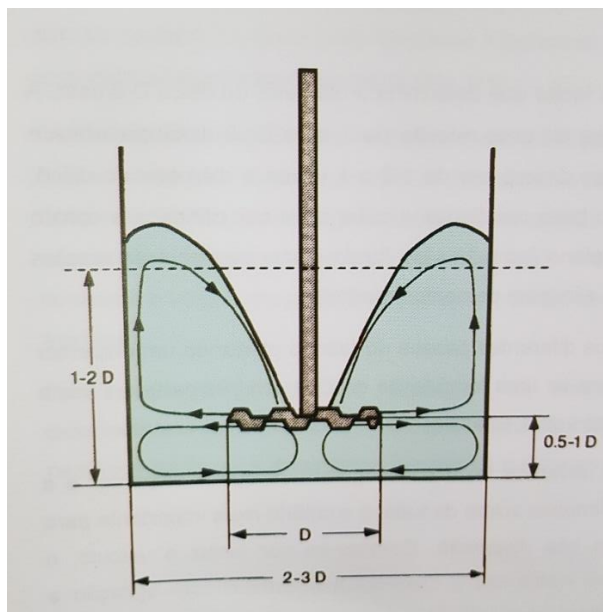


Figura 3.2 - Representação dos diversos fluxos de matéria dentro da cuba [16].

Durante a fase de moagem é necessário ter, por parte do operador, alguma sensibilidade relativamente aos acontecimentos na cuba, durante esta fase. À medida que os pigmentos e cargas vão sendo introduzidos na cuba, a sua dispersão vai ser cada vez maior até se obter uma total dispersão dos mesmos. No entanto, à medida que introduzimos estas partículas sólidas, a viscosidade do sistema vai aumentando cada vez mais e é necessário ter a sensibilidade de quando é que o sistema atinge uma viscosidade tal, que as partículas que se encontram mais próximo das paredes da cuba não conseguem ter movimento, não sendo dispersadas. Nesta situação, é necessário proceder à introdução de parte de solvente ou parte do ligante de modo a baixar a viscosidade. Esta elevação da viscosidade acontece porque os pigmentos e cargas têm uma característica que se designa de absorção de óleo expresso em mg/100 ml de óleo. Trata-se da capacidade que os pigmentos e cargas têm para absorver um dado óleo, comumente, o óleo de linhaça é o mais utilizado neste teste. Esta absorção de óleo, no fabrico de uma tinta, retrata-se na absorção dos solventes presentes e conseqüente espessamento na mistura reacional.

A fase de dispersão dura geralmente entre 15-30 min, tendo em atenção as velocidades de rotação impostas ao veio, uma vez que a velocidade de aumento de temperatura é diretamente proporcional à velocidade de rotação do disco dentado. Para elevadas temperaturas (60 °C), já se considera uma má utilização da velocidade de rotação porque

algumas matérias primas mais sensíveis à temperatura podem alterar as suas propriedades padrão. Esta fase cessa após medição do grau de dispersão. O valor padrão do grau de dispersão para tintas plásticas é de 4-5 Hegman (o procedimento encontra-se no anexo A1).

Por fim, na fase de acabamento, o restante ligante, o solvente (água), os coalescentes e restantes aditivos, são introduzidos a velocidades de rotação baixas de forma a minimizar a formação de espuma, devido à introdução de ar na tinta.

3.2 Equipamento [16]

Para a fabricação de uma tinta e consoante o tipo de tinta o equipamento envolvido é diferente para a sua produção.

De acordo com a formulação, existe uma ordem de introdução dos constituintes da tinta, cujo termo mais importante durante o fabrico da tinta é a moagem ou dispersão.

Para se obter diferentes graus de moagem ou dispersão, diferentes equipamentos são necessários. Para o caso da fabricação de uma tinta plástica o grau de moagem necessário é compreendido entre 4 e 5 porque a exigência do acabamento não é elevada, logo utiliza-se um dispersor.

3.3 Dispersor [16]

O dispersor que se encontra na figura 3.3 pretende mostrar o tipo de dispersor utilizado para fabricar, cerca de 60% das tintas. O princípio de funcionamento deste equipamento baseia-se num veio metálico de aço inoxidável que contém um disco dentado. Este veio, roda a altas rotações impondo assim, na pasta de moagem, uma força de corte suficiente para desagregar e dispersar os aglomerados de pigmento que contém pequenas percentagens de aglomerados.



Figura 3.3 - Dispersor Tintas 2000. [Fotos tiradas durante o estágio]

O misturador apresenta na sua constituição um motor elétrico ligado a um veio. A altura deste veio é variável consoante a necessidade do operador, assim como a velocidade de rotação do disco dentado.

O elemento que vai provocar a dispersão é um disco dentado plano que possui dentes verticais positivos intercalados com dentes verticais negativos, em relação ao eixo de simetria do disco na horizontal. Pode também ser, um disco horizontal com dentes horizontais no mesmo plano que o disco e espaçados devidamente entre si. A potência destes dispersores é variável consoante a necessidade da operação, existindo motores entre 1 cv, para os dispersores de laboratório e 100 cv para os dispersores de fábrica.

Os discos de dispersão apresentam diversos diâmetros. Estes diâmetros são escolhidos consoante o diâmetro da cuba que se utiliza para a fabricação da tinta. A relação ideal para o diâmetro seria 1 para 3 e a distância ótima entre o fundo da cuba e o disco será de $\frac{1}{2}$ a 1 vezes o diâmetro do disco. Através do diâmetro é possível calcular as velocidades de dispersão num dado instante. Normalmente as velocidades utilizadas em dispersões são na ordem dos 15 a 25 m/s e este cálculo é efetuado multiplicando o diâmetro do disco por π (3,14) e pelo número de rotações por segundo do veio.

3.4 Desenvolvimento da fórmula da tinta de monocamada

Por meio da solicitação da administração da empresa Tintas 2000, deu-se início ao desenvolvimento e investigação da tinta branca de monocamada.

O aparecimento desta tinta tem como função, colmatar problemas como a cobertura de rebocos de colorações diferentes com uma só demão e a fácil aplicabilidade.

Numa primeira instância, procedeu-se ao contacto com os mais antigos e importantes fornecedores da empresa em busca de apoio técnico na área de resinas, dispersantes e pigmentos capazes de proporcionarem a maior opacidade à tinta.

Estes contactos resultaram numa fórmula orientativa por parte de um fornecedor habitual (nome confidencial). Esta fórmula orientativa apoia-se num estudo feito pelo fornecedor em que se trata de uma tinta de elevada cobertura, baseado na utilização de uma resina estireno-acrílica e dispersante de pigmento que proporcionam uma ótima dispersão e distribuição do pigmento e, por consequência, maior opacidade da película de tinta final.

No entanto, a fórmula orientativa foi testada pela empresa Tintas 2000 laboratorialmente e a opacidade final da película não foi satisfatória para os objetivos da empresa.

Apesar disto, a fórmula orientativa foi fundamental como ponto de referência para desenvolvimento da tinta de monocamada.

Foi também realizada uma pesquisa a nível de mercado, de modo a encontrar produtos concorrentes. Encontraram-se 2 produtos concorrentes, nomeadamente, a tinta L e a tinta T (por motivos de confidencialidade não é possível revelar o nome comercial das tintas referência), que sendo tintas de monocamada, foram designadas de tintas de referência.

Com o cruzamento destas duas informações (fórmula orientativa e pesquisa de mercado), deu-se início à formulação da tinta de monocamada.

Na empresa, Tintas 2000, já existia uma tinta de elevada cobertura, designada de tinta P, contudo o teor em resina é baixo, que por consequência a resistência à esfrega húmida é baixa. De modo a criar uma tinta de melhor qualidade, mantendo uma elevada cobertura, encontra-se assim uma terceira informação a cruzar com as outras duas.

Os resultados obtidos com os produtos concorrentes (L e T) e tinta P (Tintas 2000), encontram-se presentes na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Apresentação das características das tintas referência.

Tintas	Sólidos de resina (%)	Cargas (%)	Brancura (%)	Razão de Contraste (%)
Tinta L	22,10	51,32	83,75	97,76
Tinta T	22,76	50,87	85,49	96,03
Tinta P	10,00	50,00	86,03	98,50

Pode-se dividir em 3 fases a lógica de formulação da tinta de monocamada: jogo de cargas, variação da resina e por último a variação dos espessantes e aditivos de aplicação.

A nova formulação pretendia basear-se na quantidade de ligante, semelhante às tintas de referência, mantendo os restantes componentes da formulação P (bactericidas, antiespuma, reguladores de pH, espessantes entre outros aditivos) e variando-se o tipo de cargas e pigmento, bem como as suas percentagens. Trata-se de um jogo de cargas porque existem vários parâmetros relacionados com as cargas que afetam a tinta, tal como opacidade, índice de refração, absorção de óleo e massa volúmica.

Ao longo de todos os ensaios, foram ensaiadas diferentes cargas, sendo que para o ensaio que foi aprovado, apenas algumas delas foram escolhidas para a fabricação da tinta (por motivos confidenciais não podem ser reveladas). Estão representados nas tabelas 3.2 a 3.4 todas as cargas e pigmentos ensaiados.

Tabela 3.2 - Lista de cargas (C) e pigmentos (P) testados.

Cargas e Pigmentos	Função	Descrição	Massa Volúmica (g/cm³)	Absorção de óleo (g/100g de óleo)	Índice de refração	TMP (µm)
Pigmento 1	P	Dióxido de Titânio	3,70	37	2,6-2,7	0,21
Pigmento 2	P	Dióxido de Titânio	4,00	16,2	-	0,405
Carga 1	C	Silicato de Alumínio (caulino)	2,60	50	1,57	0,50-3,50

Tabela 3.3 - Lista de cargas (C) e pigmentos (P) testados (continuação).

Cargas e Pigmentos	Função	Descrição	Massa Volúmica (g/cm³)	Absorção de óleo (g/100g de óleo)	Índice de refração	TMP (µm)
Carga 2	C	Talco (Silicato de magnésio)	2,77	48	-	5
Carga 3	C	Talco (Silicato de Magnésio)	0,6	36	-	9
Carga 4	C	Talco (Silicato de Magnésio)	2,77	45	-	9
Carga 5	C	Silicato de Alumínio calcinado	2,2	-	1,62	1,4
Carga Pigmentada	C	Carga Pigmentada a carbonato de cálcio revestido com dióxido de titânio	3,1	-	-	1,1
Carga 6	C	Carbonato de Cálcio	2,715	22	-	1,5-13
Carga 7	C	Carbonato de cálcio	2,7	16	-	2,5
Carga 8	C	Carbonato de Cálcio	2,7	18	1,65	3
Carga 9	C	Carbonato de Cálcio	2,7	16	1,65	6
Carga 10	C	Carbonato de magnésio e cálcio	-	17	1,2	9
Carga 11	C	Silicato de alumínio	1,9	135-165	-	0,02
Carga 12	C	Talco	0,5	44	-	8
Carga 13	C	Silicato de K e Al hidratado (moscovite)	2,84	49-53	-	3

Tabela 3.4 - Lista de cargas (C) e pigmentos (P) testados (continuação).

Cargas e Pigmentos	Função	Descrição	Massa Volúmica (g/cm ³)	Absorção de óleo (g/100g de óleo)	Índice de refração	TMP (µm)
Carga 14	C	Carbonato de Cálcio	1,5	15	-	20

O pigmento é o composto mais importante na opacidade, como já foi referido previamente, devido à sua estrutura cristalina, índice de refração, entre outras.

Contudo as cargas apesar de serem utilizadas para melhorar propriedades mecânicas e dar volume à tinta, são também usadas para melhorar as propriedades ótimas da mesma, na mesma medida que o pigmento, devido ao seu índice de refração.

Cargas de elevado índice de refração têm mais tendência para criar um efeito ótico, que permite ver maior cobertura de uma mesma tinta. Por este motivo, em geral, para os ensaios, foram escolhidas cargas com elevados índices de refração. Contudo, é preciso ter em conta a absorção de óleo de cada pigmento, pois, se usarmos este tipo de cargas em elevadas percentagens, a viscosidade final da tinta torna-se demasiado elevada. É de salientar que não se trata apenas de um problema de viscosidade, pois a utilização de cargas com elevada absorção de óleo, tem influência negativa no ensaio de fissuração (*Mud Cracking*).

Para a escolha das cargas para a fabricação da tinta é necessário existir uma relação ótima entre cargas com elevado índice de refração, absorção de óleo das mesmas, assim como o custo de cada uma delas.

Quanto à resina utilizada nos primeiros ensaios, a escolhida foi a estireno-acrílica, proveniente da entidade fornecedora da fórmula orientativa. Este tipo de resina é o aconselhado para a fabricação de tintas de interior, uma vez que, o monómero estireno proporciona uma excelente resistência à esfrega húmida. Esta característica é muito importante para uma tinta de interior, uma vez que, no dia a dia, eventuais riscos e sujidades que aparecem nas paredes, a tinta tem de ser capaz de suportar sucessivas lavagens sem perda da sua qualidade.

Após encontrar o conjunto de cargas e pigmentos capazes de proporcionar a opacidade objetivo, efetuaram-se ensaios com resinas diferentes (segunda etapa), resinas já

existentes na empresa Tintas 2000, uma estireno-acrílica e uma resina baseada em acetato de vinilo e VeoVa (éster vinílico do ácido versático). Estas alterações na resina, tinham o objetivo de evitar comprar mais matérias primas para a empresa e de facto a resina que proporcionou melhores resultados foi a resina de acetato de vinilo e VeoVa.

O modo de aplicação e a lacagem de uma tinta, influenciam de forma muito considerável a opacidade de uma tinta. A tinta não pode ser muito “presa” na aplicação, dado que na aplicação de grandes superfícies torna-se um processo inadequado ou difícil para o aplicador. Tem de ocorrer uma grande transferência de tinta do rolo para a superfície de aplicação, entre outras características. Para isto acontecer é fundamental recorrer a aditivos e espessantes, como espessantes associativos, que permitam à tinta apresentar um perfil mais newtoniano, transferindo mais tinta do rolo para a superfície, aditivos de aplicabilidade e lacagem que funcionam como lubrificante, permitindo à tinta ter uma melhor aplicabilidade.

Com o fim de cumprir os objetivos estabelecidos para esta tinta, foram desenvolvidos e testados 31 ensaios. Todavia, alguns deles não foram tomados em consideração nesta dissertação, por apresentarem características demasiado insatisfatórias.

Cada ensaio era produzido à escala laboratorial na quantidade de 1 kg. Após a produção da tinta, esta repousava, de modo a estabilizar e a libertar todo o ar encapsulado, com o objetivo de não influenciar a medição das características da tinta.

3.5 Métodos de Ensaio

Para o ensaio aprovado e mesmo para a caracterização das tintas referência existe uma série de testes de análise a serem executados. Para as tintas em causa, os testes efetuados foram a viscosidade Stormer, massa volúmica, *Mud Cracking*, razão de contraste e brancura. Todos estes procedimentos encontram-se disponíveis no Anexo A.

4. Resultados e Discussão

4.1. Ensaio Realizados

Os resultados obtidos com todos os ensaios das tintas desenvolvidas e tintas referência estão representados nas tabelas 4.1 a 4.9.

Tabela 4.1 - Apresentação dos resultados obtidos das tintas de monocamada (Ensaio 1 - 8).

Características	294440/1	29440/3	29440/4	29440/5	29440/6	29440/8
Cargas (%)	47,50	49,69	48,99	51,19	51,60	52,8
Sólidos de resina	10,5	10,0	10,0	9,0	8,5	9
Índice brancura (%)*	84,38	86,42	84,67	86,09	85,95	86,91
Razão contraste (%)*	97,9	98,19	97,18	96,81	96,8	97,12
Viscosidade (KU)	109	112	112 C/-1% H2O	115	> 130	118
Massa Volúmica (g/cm³)	-	1,37	1,44	-	-	1,49
Mud Cracking (micrómetros)	-	-	500	450	-	500
PVC %	63,5	66,1	65,6	67,20	65,5	64,8
Aplicabilidade (1-5)	-	2	-	3	-	2
Lacagem (1-5)	-	2	-	3	-	2

*Valores médios da leitura de duas cartas *Leneta* da aplicação da mesma tinta.

Tabela 4.2 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 9 - 15).

Características	29440/9	29440/10	29440/11	29440/12	29440/13	29440/14	29440/15
Cargas (%)	53,65	51,65	49,65	47,5	47,5	46,60	47,52
Sólidos de resina (%)	10	9,75	10	10	10	10	9,75
Índice brancura (%)*	87,56	86,66	81,57	82,90	84,25	84,45	86,22
Razão contraste (%)*	97,71	96,58	95,73	96,31	96,93	95,53	97,45

Tabela 4.3 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 9 - 15) (continuação).

Características	29440/9	29440/10	29440/11	29440/12	29440/13	29440/14	29440/15
Viscosidade (KU)	135	120	105	100	130	113 c/0,6 gr Espessa nte celulos o	113
Massa Volúmica (g/cm³)	1,5	1,47	1,40	1,39	1,38	1,38	1,39
Mud Cracking (µm)			750		300	750	300
PVC (%)	63,4	62,8	61,5	62	62,2	60,4	61,9
Aplicabilidade	-	-	-	-	3	-	3
Lacagem (1-5)	-	-	-	-	2	-	2

*Valores médios da leitura de duas cartas *Leneta* da aplicação da mesma tinta.

Tabela 4.4 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 16 - 22).

Características	29440/16	29440/17	29440/18	29440/19	29440/20	29440/21	29440/22
Cargas (%)	51,05	51,05	51,4	50,4	51,2	51,4	51,4
Sólidos de resina (%)	8	8	8	8	8,8	8	7,75
Índice brancura (%)*	86,45	86,58	86,09	86,58	84,53	86,2	89
Razão contraste (%)*	98,01	97,78	97,56	98,15	97,47	97,95	98,27

Tabela 4.5 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 16 - 22) (continuação).

Características	29440 /16	29440/1 7	29440/1 8	29440/1 9	29440/2 0	29440/2 1	29440/2 2
Viscosidade (KU)	120	113	120	122	110	122	136
Massa Volúmica (g/cm³)	-	-	-	1,46	1,55	1,44	1,47
Mud Cracking (µm)	450-500	-	450	450	450	450	-
PVC (%)	66,1	66,3	68,1	68,1	65,9	66,5	68,4
Aplicabilidade (1-5)	2	3	-	3	1	3	3
Lacagem (1-5)	3	3	-	3	3	3	2

*Valores médios da leitura de duas cartas *Leneta* da aplicação da mesma tinta.

Tabela 4.6 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 23 – 29532/5).

Características	29440/23	29440/24	29440 /25	29532 /2	29532/ 3	29532/ 4	29532/ 5
Cargas (%)	51,4	51,4	50,3	49,92	50,8	49,8	49,8
Sólidos de resina (%)	7,75	8,53	8,8	8,462	8,8	8,8	8,8
Índice brancura (%)*	86,2	86,24	86,75	84,82	86	85,41	85,2
Razão contraste (%)*	98,13	98,35	98,13	98,19	98,2	98,2	97,66

Tabela 4.7 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 23 – 29532/5) (continuação).

Características	29440/23	29440/24	29440 /25	29532 /2	29532/ 3	29532/ 4	29532/ 5
Viscosidade (KU)	137	104 S/ espessante newtonian o e 108 c/ espessante newtonian o	112	123	113	126	129
Massa Volúmica (g/cm³)	1,44	1,48	1,43	1,48	1,46	1,47	1,45
Mud Cracking (µm)	-	-	480	-	-	400	400 S/ W.S e 600 C/ W.S
PVC (%)	68,2	66,2	64,9	64,3	64,9	-	65,2
Aplicabilidade (1-5)	3	2	4	3	4	3	3
Lacagem (1-5)	3	3	4	3	4	3	3

*Valores médios da leitura de duas cartas *Leneta* da aplicação da mesma tinta.

Tabela 4.8 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 29532/6, 29532/7, otimização, Tinta P, L e T.

Características	29532/6	29532/7	Otimização	Tinta P	Tinta L	Tinta T
Cargas (%)	49,8	49,8	49,79	50	51,32	50,87
Sólidos de resina (%)	8,8	8,8	8	5,5	11,05	11,38
Índice brancura (%) *	86,36	84	83,94	86,02	83,75	85,49
Razão contraste (%) *	98,3	97,92	97,9	98,45	97,25	96,03

Tabela 4.9 - Apresentação dos resultados obtidos da tinta de monocamada (Ensaio 29532/6, 29532/7, otimização, Tinta P, L e T (continuação)).

Características	29532/6	29532/7	Otimização	Tinta P	Tinta L	Tinta T
Viscosidade (KU)	113	129	110	105	131	120
Massa Volúmica (g/cm³)	1,46	1,45	1,39	1,50	1,55	1,56
Mud Cracking (µm)	500	400	300	300	900	-
PVC (%)	64,2	-	-	72,4	-	-
Aplicabilidade (1-5)	3	4	4	3	1	2
Lacagem (1-5)	3	4	3	1	4	1

*Valores médios da leitura de duas cartas *Leneta* da aplicação da mesma tinta.

Numa fase inicial, verifica-se que a razão de contraste ainda estava em valores abaixo de 98%, excetuando o ensaio 3 que foi descartado devido a resultados insatisfatórios na lacagem e aplicabilidade. Nesta fase, o objetivo foi encontrar o conjunto de cargas e pigmentos que predisõem uma opacidade mais elevada.

De acordo com a figura 4.1, procura-se relacionar a razão de contraste com o PVC de cada ensaio, no entanto, não é possível devido à alteração da composição de cada ensaio.

O facto de existir uma variação ao nível de matérias primas, nomeadamente cargas e pigmentos, traduz-se numa dispersão aleatória entre a razão de contraste e o PVC do ensaio. Deste modo, é impossível relacionar estes dois parâmetros, nestas condições.

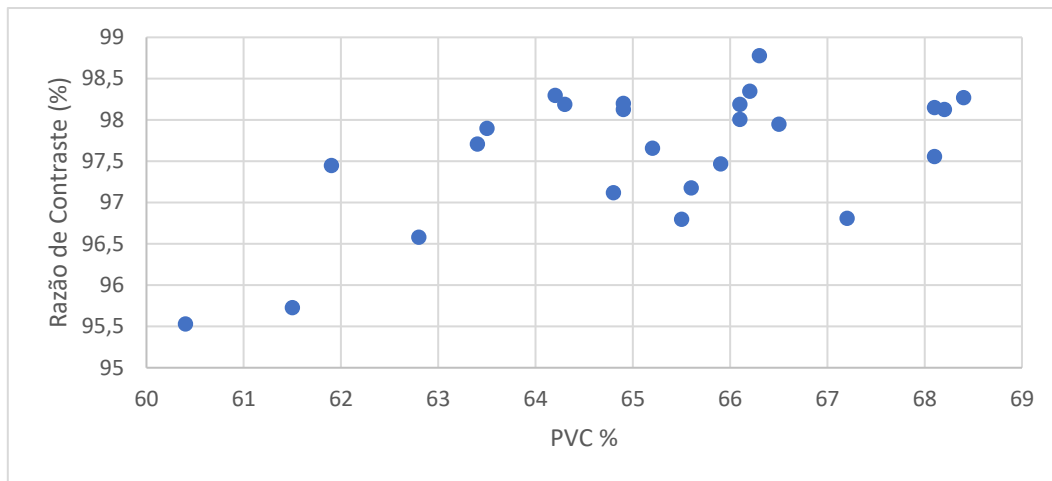


Figura 4.1 - Análise do efeito do PVC (%) na razão de cobertura (%) de uma tinta.

Teoricamente, mantendo o tipo de cargas e pigmento, tal como ligante, variando apenas as suas percentagens, existe uma relação entre PVC e razão de contraste. A relação seria linear crescente até um ponto máximo.

No entanto a única conclusão possível acerca da figura 4.1 foi constatar que a razão de contraste não está unicamente dependente do PVC.

4.2. Seleção do ensaio

Entre os 31 ensaios realizados, o ensaio aprovado foi o ensaio 29440/25. Este ensaio apresenta uma percentagem de cargas e sólidos de resina de 50,3% e 8,8%, respetivamente. Esta tinta possui um PVC de 64,9%, uma viscosidade de 112 KU, uma massa volúmica de 1,43 (g/cm³), um índice de brancura de 86,75% e uma razão de contraste de 98,13%.

Apesar de existirem ensaios, que possuem uma razão de contraste superior ao ensaio 29440/25, estes, apresentavam uma opacidade “real” inferior.

A entidade fornecedora aconselhou a resina estireno-acrílica e o dispersante de pigmento provenientes da sua empresa, devido a terem conseguido resultados interessantes de opacidade com estas matérias primas. Contudo o ensaio aprovado (29440/25) utiliza uma dispersão aquosa copolímera baseada em acetato de vinilo e VeoVa (éster vinílico do ácido versático) que juntamente com o dispersante aconselhado pelo fornecedor funcionou bastante bem, tendo esta tinta cumprido os objetivos propostos.

Este ensaio, foi eleito fundamentalmente devido à sua capacidade de cobertura e facilidade de aplicação. Para o parâmetro aplicabilidade, este ensaio a par do ensaio 29532/3, teve um valor de 4 numa escala de 0 a 5, destacou-se largamente das tintas referência. Este resultado deve-se ao uso de aditivos de aplicação e/ou até mesmo, ao uso de coalescentes. Estes, devido ao seu elevado ponto de ebulição, ajudam tanto no espalhamento regular e uniforme do filme de tinta ao longo de toda a superfície de aplicação, bem como na libertação de todas as tensões acumuladas devido às forças atrativas e repulsivas na película da tinta, entre os componentes de diferentes cargas.

4.3. Determinação da opacidade

De modo a determinar a opacidade foram realizados 3 ensaios diferentes.

➤ Carta de Contraste

A razão de contraste é determinada através do procedimento descrito no Anexo A4. Este ensaio, já referido no subcapítulo 2.3.1, é um ensaio indicativo, mas não conclusivo. Apesar do ensaio 29440/25 não apresentar o valor mais elevado de razão de contraste (%), no ensaio da opacidade real, descrito posteriormente, resulta na tinta de maior opacidade. Este resultado não é conclusivo porque fatores que influenciam a opacidade como a aplicabilidade e a lacagem não são variáveis consideradas neste ensaio, uma vez que este, restringe-se a uma aplicação com um filmógrafo.

➤ Carta *Leneta*

Neste ensaio, avalia-se não só a razão de contraste, mas também a lacagem na tinta. Trata-se, igualmente de um teste indicativo. Este ensaio foi útil para verificar a lacagem da tinta, discussão presente no subcapítulo 4.4.1.

➤ Aplicação em gesso cartonado

Esta opacidade “real” é um ensaio que simula as condições mais adversas que a tinta de monocamada pode encontrar. O presente ensaio retrata melhor a situação que se vai passar na realidade. A opacidade nesta experiência, vai ser influenciada por outras propriedades da tinta, como a quantidade de tinta transferida entre o rolo e o suporte, a lacagem, entre outras.

O poder de cobertura, neste caso, é determinado através de uma placa de gesso cartonado. A preparação deste suporte passa pela aplicação de um isolante aquoso de modo a

absorção do reboco não ser demasiado elevada e interferir na opacidade real da tinta. Após a secagem deste isolante aplicava-se uma faixa negra horizontalmente como está representado na figura 4.2.



Figura 4.2 - Representação do suporte para a aplicação dos ensaios (Tintas 2000).

Depois da preparação do provete de gesso cartonado e divisão do mesmo, aplicam-se alguns ensaios juntamente com as tintas de referência, de modo a ser possível comparar visualmente o poder de cobertura dos ensaios, relativamente às tintas referência.

Este ensaio é realizado para simular realmente a aplicação da tinta por parte de um pintor numa habitação. Existe uma diferença de opacidade ao nível visual entre a carta *Leneta* e a aplicação sobre a faixa negra, devido a fatores reológicos que serão explicados mais à frente.

Na figura 4.3 está representada a aplicação das tintas iniciais, ensaios 29440/3, 29440/5, 29440/8 e as tintas de referência (P, L e T), fase inicial que só se utilizava um único espessante associativo nas formulações das tintas.



Figura 4.3 - Representação do painel após aplicação dos ensaios iniciais (1^a, 2^a e 3^a faixa da esquerda para a direita) juntamente com as tintas referência (4^a, 5^a e 6^a faixa da esquerda para a direita).

As 3 faixas iniciais representam a aplicação dos ensaios 29440/3, 29440/5 e 29440/8, sendo visível que a opacidade não é satisfatória. Nesta fase o conjunto de cargas utilizadas baseava-se em carbonatos de cálcio de baixa opacidade e juntamente com o espessante associativo utilizado (poliéter poliuretano), não se obteve a opacidade desejada.

Após estes primeiros passos no desenvolvimento da tinta da monocamada, o conjunto de cargas foi alterado, substituindo parte dos carbonatos de cálcio por talcos e silicatos que proporcionam, devido à sua estrutura, maior opacidade. A junção do espessante associativo (poliéter poliuretano) com um outro espessante associativo (um polímero modificado de caráter não iônico) resultou num melhoramento das características da opacidade das propriedades de lacagem e aplicabilidade da tinta, que serão abordadas mais à frente. Esta evolução ao nível da opacidade está representada na figura 4.4.

Esta diferença constata-se na medida em que ensaios cujo valor da razão de contraste foi mais elevado, como por exemplo o ensaio 29440/17 e o 29440/22, ao nível da cobertura

de uma faixa negra, apresentavam resultados insatisfatórios devido à sua má lacagem. Estes dois ensaios exemplo, apresentavam uma lacagem grosseira e áspera ao contrário do ensaio selecionado (29440/25) que apresentava uma lacagem lisa e uniforme, resultando numa opacidade final superior, situação esta representada na figura 4.4. A capacidade do espessante associativo (polímero modificado) foi fundamental no sucesso do ensaio 29440/25, devido à propriedade que este apresenta de permitir uma transferência de tinta entre o rolo e o provete muito elevada.



Figura 4.4 - Representação do painel após aplicação dos ensaios finais juntamente com as tintas referência.

O ensaio 29440/25, terceira faixa da esquerda para a direita, ao nível da figura 4.4 é impercetível a distinção entre as duas faixas adjacentes. Contudo, visualmente no local verifica-se uma ligeira melhoria ao nível da cobertura e lacagem relativamente ao ensaio da esquerda (29532/3) e uma melhoria ainda maior ao nível da cobertura e uma semelhança ao nível da lacagem relativamente à tinta referência L.

4.4. Comparação das tintas referência e o ensaio aprovado ao nível da lacagem e aplicabilidade

O efeito da lacagem na figura 4.4 não é perceptível, uma vez que a lacagem é um parâmetro muito minucioso e não é visível a uma distância elevada entre a pessoa e o provete. No

entanto, na figura 4.5, é possível verificar as diferentes lacagens entre o ensaio aprovado (29440/25) e as lacagens das tintas referência.

As cartas *Leneta* utilizadas na figura 4.5, têm uma maior dimensão, sendo possível a aplicação a rolo, ou outro material adequado, que simule a aplicação real quando aplicamos uma tinta. Podemos assim utilizá-las como meio para avaliação da lacagem e da opacidade na aplicação.

Neste ensaio foram aplicadas todas as tintas de referência (P, L e T) assim como o ensaio aprovado (29440/25) e a tinta otimizada.

Conclui-se que neste teste, as tintas com maior poder de cobertura são o ensaio 29440/25 bem como a tinta de referência L.

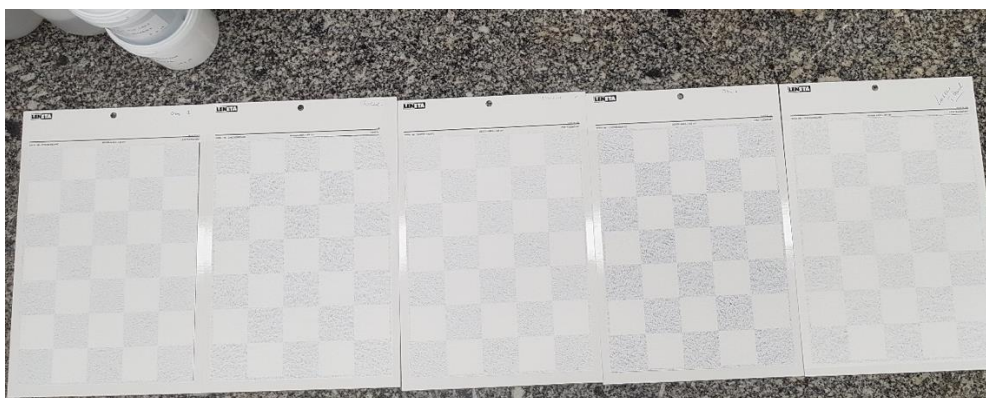


Figura 4.5 - Avaliação da lacagem da tinta otimizada, tinta referência (P), Ensaio 29440/25, tinta referência (T) e tinta referência L, assim como o poder de cobertura das mesmas.

O exemplo do efeito da má lacagem verifica-se neste teste no caso da tinta P. Esta tinta tem uma razão de contraste de 98,45%, a mais elevada de todos os ensaios presentes. No entanto ao aplicar esta tinta sobre este substrato, tal não é evidenciado, devido à má lacagem. Assim, o filme de tinta final apresenta um relevo demasiadamente grosseiro que impede a cobertura do substrato preto. O exemplo desta má lacagem está mais visível na figura 4.6 e 4.7. Estes resultados, também se aplicam à tinta T, tendo esta obtido, tal como a tinta P, um valor de lacagem de 1, numa escala de 1 a 5.

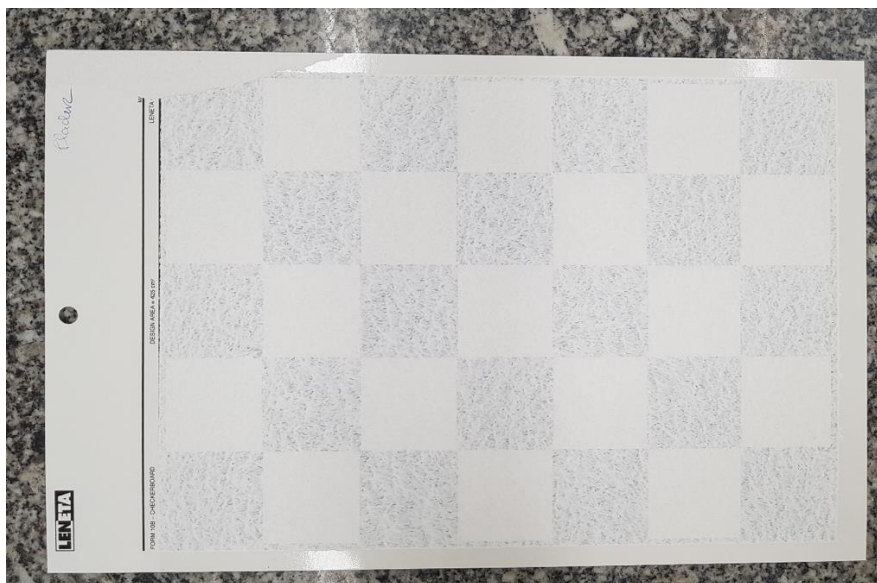


Figura 4.6 - Avaliação da lacagem da tinta referência (P) assim como o poder de cobertura.

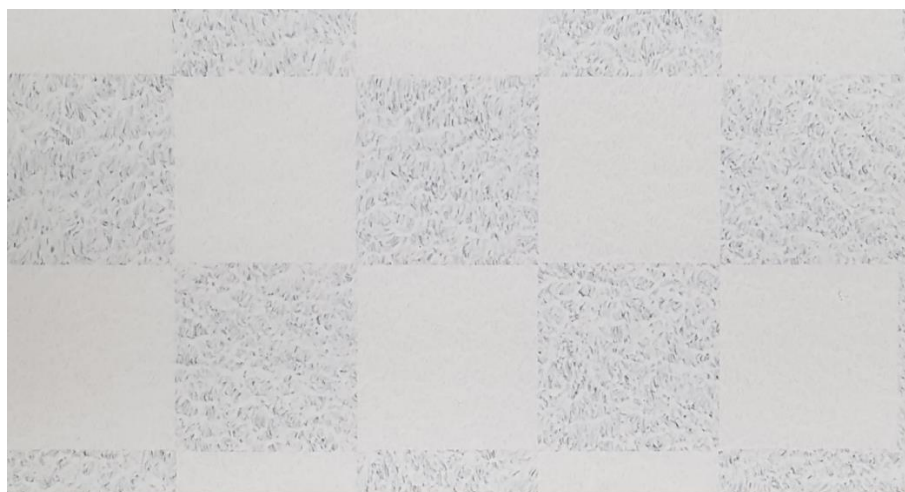


Figura 4.7 - Avaliação da lacagem da tinta referência (P) assim como o poder de cobertura, vista de uma forma ampliada.

Este relevo que se cria impede a formação de um filme contínuo e uniforme. Isto permitiria uma melhor cobertura do substrato, no entanto também gera um problema ao nível de toque do substrato. Uma boa lacagem proporciona um melhor toque à superfície da película da tinta.

Este fenómeno pode-se explicar concomitante com o subcapítulo 4.6 (Comportamento Reológico), uma vez que há uma relação entre ambos. Correlaciona-se também com a aplicação e tensão superficial.

Tintas que secam mais rapidamente necessitam da utilização de coalescentes, porque possuem elevados pontos de ebulição da ordem dos 250 °C que permitem uma secagem mais lenta, melhorando a lacagem. Também ajudam bastante na aplicabilidade evitando que a tinta seja demasiado secativa. Deste modo, existe um aumento do tempo aberto de aplicação, tempo este que é definido como o espaço de tempo que temos para aplicar a tinta e a mesma não seca. Para aumentar este tempo aberto, usou-se um aditivo, uma emulsão de base aquosa de um álcool de cadeia longa, que aumenta o tempo de secagem da tinta, aumentando o tempo aberto.

Por outro lado, encontra-se o ensaio 29440/25, que já utiliza na formulação uma maior quantidade de coalescente comparativamente com a tinta P, dado que a % de coalescente depende diretamente da % de resina na formulação.

Verifica-se então, notoriamente, uma melhoria na lacagem do ensaio 29440/25 porque esta maior percentagem de coalescente permite uma secagem mais demorada. Isto permite a uniformização do filme de tinta, apresentando um relevo quase ou praticamente nulo e um toque mais suave relativamente à tinta P. A lacagem do ensaio aprovado (29440/25) de uma forma já mais ampliada está representado na figura 4.8.



Figura 4.8 - Avaliação da lacagem do ensaio 29440/25, assim como o poder de cobertura, vista de uma forma ampliada.

O espessante de poliéter poliuretano utilizado em todos os ensaios realizados, trata-se de um agente modificador compatível com outros espessantes, que proporciona excelentes lacagens e estabilidade em armazenamento. No entanto, a utilização de apenas este espessante traduziu-se em lacagens e aplicabilidades insatisfatórias maioritariamente de 2 (numa escala de 1 a 5).

A partir do ensaio 29440/25 verificam-se valores de lacagem e aplicabilidade mais satisfatórios e regulares, com resultados maioritariamente de 3 (numa escala de 1 a 5), devido à utilização de um outro espessante associativo, que se trata de um polímero modificado de carácter não iónico. Este novo espessante tem a valência de proporcionar excelentes lacagens e fluidez da tinta. A partir deste momento, o jogo de espessantes estava concluído.

4.5. Formulação otimizada

Surgiu a ideia de construir uma formulação baseada através de um software de programação linear, o Solver. Esta ideia inicialmente tinha como objetivo, a construção de uma fórmula que otimiza a razão de contraste concomitante com o preço de custo da mesma fórmula.

Este método, *Solver*, é um suplemento do Excel que permite testar hipóteses de sensibilidade com mais de uma variável e com restrições de parâmetros. É um suplemento do Excel que permite resolver pequenos/médios problemas com o objetivo de otimizar o resultado, ou seja, é possível maximizar ou minimizar uma célula com base em alguns parâmetros.

Este método trabalha de forma direta ou indireta com células que estão relacionadas com a célula objetivo. Todas estas células que estão relacionadas influenciam a célula objetivo e poderão ser alteradas pelo próprio Excel, desde que, as fórmulas sejam interrelacionadas e atinjam o objetivo final. Para isto é preciso ter em conta as restrições colocadas a cada uma das células.

O *Solver* é composto por 3 elementos principais:

- Variáveis de decisão: são incógnitas a serem determinadas pela solução do problema;
- Restrições: limitam as variáveis de decisão a certos valores possíveis;
- Função objetivo: é a função a ser minimizada ou maximizada a qual depende dos valores das variáveis de decisão.

Assim sendo, as funções objetivo seriam o preço e a razão de contraste. Contudo, esta ideia não ocorreu como planejado, devido a estas duas variáveis serem antagónicas. São variáveis antagónicas porque ao otimizar a razão de contraste seria necessário otimizar a

quantidade de pigmento (dióxido de titânio), sendo este a matéria prima mais cara da formulação. Assim, para otimizar a razão de contraste as quantidades de pigmento seriam elevadas e conseqüentemente o preço da formulação não seria o ótimo. Por outro lado, também não é possível otimizar o custo, porque ao minimizar o custo o programa encontraria soluções muito elevadas para as cargas, que têm um custo muito baixo, e encontraria soluções muito baixas para o pigmento devido ao elevado custo.

Desta forma, de acordo com os 31 ensaios estabelecidos, com base em todas as formulações, foi desenvolvida uma fórmula da tinta monocamada otimizada, isto é, as restrições impostas as variáveis de decisão. As células das matérias primas, foram valores que a priori já se conhecia o resultado do valor da razão de contraste. Assim, limitamos o processo de otimização apenas a uma função objetivo, o preço.

Logicamente, este processo de otimização resulta na função objetivo preço. Contudo é conhecido que a razão de contraste não vai ser tão elevada devido ao antagonismo existente. Todos os valores obtidos pelo método *Solver* e os valores representados das massas volúmicas, volumes e custos estão representados nas tabelas 4.10 a 4.12.

Tabela 4.10 - Apresentação da formulação otimizada obtida pelo método *Solver*.

Matérias-primas	Massa			Custo (€)	Custo x % na fórmula
	Quantidade e (kg)	Volúmica (g/cm ³)	Volume (dm ³)		
Água	22	1,00	22,00	Confidencial	Confidencial
Fungicida	0,4	1,03	0,39		
Espessante de celulose	0,18	1,4	0,13		
Regulador da dureza da água	1,5				
Regulador de pH	0,18	0,94	0,19		
Resina Estireno-Acrílica	16	1,08	14,81		

Tabela 4.11 - Apresentação da formulação otimizada obtida pelo método *Solver* (continuação).

Matérias-primas	Quantidade e (kg)	Massa		Custo (€)	Custo x % na fórmula
		Volúmica (g/cm ³)	Volume (dm ³)		
Anti espuma	0,35	0,94	0,37	Confidencial	Confidencial
Dispersante	0,7	1,25	0,56		
Dióxido de Titânio	18	3,7	4,86		
Carbonato de cálcio natural	3,5	2,7	1,30		
Carbonato de cálcio natural	17,89	2,7	6,63		
Silicato de alumínio	4	2,62	1,53		
Silicato de alumínio	1	2,1	0,48		
Silicato de potássio e alumínio	3	2,84	1,06		
Bactericida	0,2	1,04	0,19		
Carga Pigmentada	8	1,03	7,77		
Aditivo de lacagem	0,8	0,97	0,82		
Espessante newtoniano	1	1,03	0,97		
Coalescente 1	1	0,95	1,05		

Tabela 4.12 - Apresentação da formulação otimizada obtida pelo método *Solver* (continuação).

Matérias-primas	Quantidade e (kg)	Massa		Custo (€)	Custo x % na fórmula
		Volúmica (g/cm ³)	Volume (dm ³)		
Coalescente 2	0,3	0,778	0,39	Confidencial	Confidencial
Total	100			1,03734834	103,734834

Todas as características associadas á tinta monocamada otimizada encontram-se nas tabelas 4.13 e 4.14.

Tabela 4.13 - Apresentação das características obtidas da tinta otimizada.

Resinas	Estireno-Acrílica
Variáveis Fixas	Fungicida, regulador de pH, dispersante, antiespuma, aditivo de lacagem e espessante de celulose e newtoniano
Variáveis restringidas	Cargas, pigmentos, resina, coalescente e água
Variáveis calculadas	Preço
Custo não otimizado (€/kg)	1,07097
Custo otimizado (€/kg)	1,03735
Poupança (%)	10,24
Massa Volúmica (g/cm ³)	1,39
Viscosidade (KU)	110
<i>Mud Cracking</i> (μm)	300

Tabela 4.14 - Apresentação das características obtidas da tinta otimizada (continuação).

Resinas	Estireno-Acrílica
Razão de Contraste (%)	97,93
Brancura (%)	85,32

As restrições foram estabelecidas de acordo com o histórico de todos os ensaios realizados. De forma a garantir a viscosidade pretendida, as células dos espessantes celulósicos e newtonianos foram fixadas, assim como bactericidas, fungicidas e aditivos, que não influenciam nas características finais da tinta e que foram fixados em valores já conhecidos que dão garantias. As células que foram restritas e que se fizeram variar, foram as células das cargas, pigmentos, resina, coalescente e água. Foram restringidas entre valores também um pouco conhecidos e que davam a “garantia” de obter, ainda assim, um elevado valor de razão de cobertura.

Dadas estas condições o método encontrou uma solução, da qual resultou uma poupança no preço de custo da formulação entre a formulação otimizada e a não otimizada de 10,24% no valor de custo de produção de ensaio.

Como era previsto, o método minimizou o custo à custa do aumento das percentagens de cargas, de custo muito baixo, e diminuiu a percentagem de pigmento, que é a matéria prima de maior custo e de elevada percentagem na formulação.

As características obtidas não foram, logicamente, superiores às do ensaio aprovado (29440/25). Porém, relativamente à razão de contraste final os valores não foram muito distintos, a tinta otimizada apresenta como razão de contraste 97,93%. No entanto, no efeito visual na aplicação sobre uma placa com faixa negra, verifica-se alguma diferença, não ao nível de lacagem e aplicabilidade, que estavam muito semelhantes, com a cotação de 4 na aplicabilidade e 3 na lacagem, mas sim na cobertura, onde a tinta otimizada não apresenta uma capacidade tão elevada quando comparada ao ensaio 29440/25. O facto da capacidade de cobertura não ser tão elevada na tinta otimizada quanto na do ensaio 29449/25, é explicada pela menor percentagem de dióxido de titânio e maior percentagem de cargas, que não proporcionam menor opacidade. O resultado da aplicação das diferentes tintas pode ser visualizado na figura 4.9.

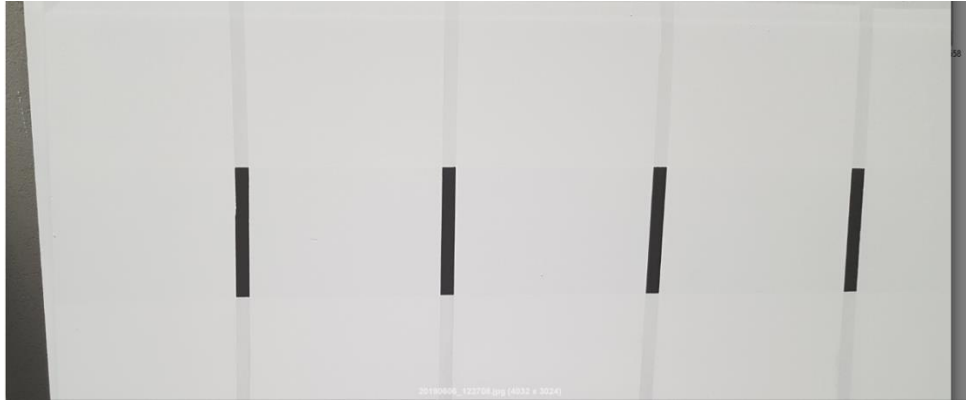


Figura 4.9 - Aplicação do ensaio 29440/25 (faixa mais à esquerda), tinta otimizada, ensaio 29440/3 e tinta referência L (faixa mais à direita), respetivamente

Concluiu-se que, se se pretender obter uma tinta monocamada de muito boa cobertura, é possível obter esta tinta otimizada com a vantagem, relativamente ao ensaio 29440/25, de poupar 10,24%. Não obstante, a probabilidade de fissuração é mais elevada devido aos valores de *Mud Cracking* serem da ordem dos 300 micrómetros enquanto que o ensaio 29440/25 apresenta valores de aproximadamente 480 micrómetros.

4.6. Comportamento reológico

Como já foi referido, um corpo não newtoniano tem tantas viscosidades diferentes quantas as condições impostas, temperatura e razão de corte. Essencialmente, para obter informações significativas é necessário efetuar medições em vários pontos, principalmente para baixas razões de corte e para altas, representando assim a fase de armazenamento e a fase de aplicação, respetivamente. Através do equipamento HAAKE Viscotester iQ da empresa Tintas 2000, representado na figura 4.10, foi possível construir curvas como as que estão representadas na figura 4.11.



Figura 4.10 - Representação do equipamento reológico HAAKE Viscotester iQ da empresa Tintas 2000.

Na figura 4.11 encontram-se representadas as curvas reológicas de viscosidade em função da razão de corte das tintas referência L, T, P, o ensaio otimizado e o ensaio aprovado 29440/25.

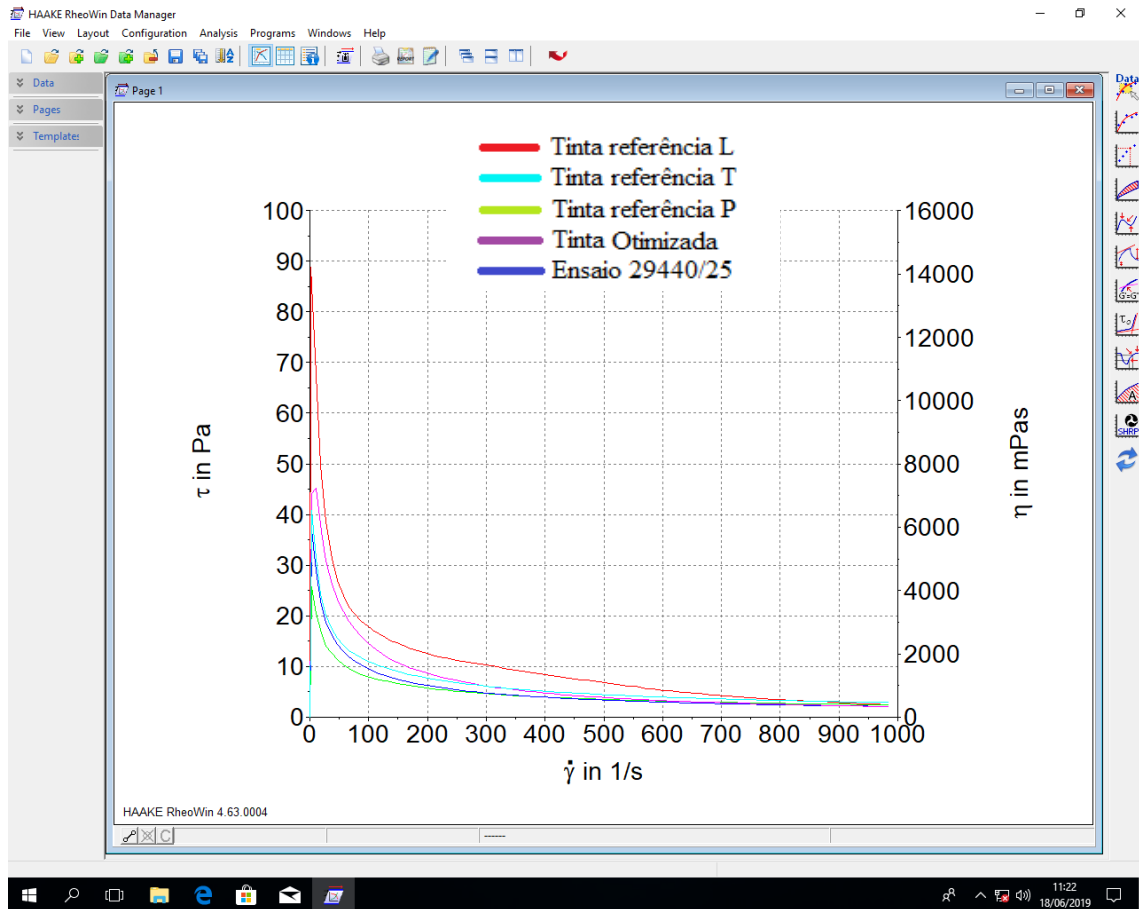


Figura 4.11 - Avaliação dos comportamentos reológicos (viscosidade, mPa*s) em função da razão de corte ($1/s$).

Para fluidos que apresentam comportamento newtoniano em que a viscosidade não é dependente da razão de corte imposta, a temperatura é a variável mais importante. Todavia, para fluidos que apresentam comportamento não newtoniano a viscosidade é dependente da razão de corte.

De acordo com a figura 4.11, comprova-se que o comportamento do fluido retrata um comportamento pseudoplástico, devido ao decréscimo da viscosidade à medida que a razão de corte aumenta.

Os resultados obtidos (figura 4.11) podem ser discutidos dividindo as curvas em duas fases, a fase inicial, *low shear*, entre os $0-20 s^{-1}$ e a fase final, *high shear*, entre os $650-1000 s^{-1}$.

A viscosidade é um custo energético associado ao fluir do fluido. Um comportamento pseudoplástico implica uma mudança estrutural no fluido, ou seja, a estrutura numa fase inicial encontra-se completamente desorganizada e com a aplicação de uma força sobre o fluido vai originar um alinhamento/orientação da estrutura. Este fenómeno encontra-se presente, logo na fase inicial de cada uma das curvas. A viscosidade parte do momento zero, em que razão de corte associada é igualmente zero, e ascende muito rapidamente até um valor máximo, é a energia mínima necessária para alinhar a estrutura do fluido.

Esta viscosidade é provocada pelos espessantes celulósicos. Estes espessantes celulósicos aumentam a viscosidade do sistema reacional formando uma estrutura tridimensional por causa da presença de forças de Van der Waals, que as atraem. Como também existem forças eletrostáticas que as fazem repelir umas das outras, promovendo assim uma distribuição homogénea por toda a tinta, isto ocorre para razões de corte baixas. Devido ao aumento da razão de corte, as ligações que formam a estrutura tridimensional que são quebradas, diminuem a viscosidade da tinta, de uma forma não tão acentuada como na fase inicial.

É possível assim verificar, que a tinta L, apresenta valores de viscosidade mais elevados na ordem dos 89 mPa*s mas quantidades de espessante celulósico indeterminados. Para o caso do ensaio 29440/25 a viscosidade mais elevada foi de 36 mPa*s e a viscosidade da tinta otimizada, foi de 45 mPa*s. Está aqui exemplificado a situação acima descrita, apesar de o ensaio 29440/25 apresentar maior quantidade de espessante celulósico, cerca de 35,7% a mais. A viscosidade máxima é inferior, neste ensaio, para razões de corte aproximadamente iguais, devido ao tipo de resina ser, poliméricamente diferente.

A partir deste momento existe um decréscimo exponencial até 650 s^{-1} , aproximadamente, entre o valor máximo de viscosidade e os 650 s^{-1} são viscosidades correspondentes a razões de corte que são associadas ao nivelamento, agitação, aplicações à trincha e outros.

Na fase final da curva, *high shear*, o espessante celulósico deixa de ter praticamente influência e passa a ter influência o espessante associativo. A presença deste tipo de espessantes pode influenciar qualquer fase, *low shear*, *medium shear* ou *high shear*, aumentando mais a curva de forma a torná-la com declive nulo, isto é, mais newtoniano.

Este espessante é designado de associativo porque existe ligação entre o espessante e o polímero, aumentando a massa molecular do mesmo. Como aumenta a viscosidade do

sistema para razões de corte mais elevadas, devido às fortes ligações entre o espessante e o polímero, permite uma melhor aplicabilidade pois a viscosidade mantém-se constante ao longo de toda a aplicação e não se mantém muito baixa, evitando assim salpicos e escorridos de tinta. A figura 4.12 representa a diferença entre uma tinta que possui espessante associativo e a mesma tinta sem espessante associativo para verificar qual a influência do mesmo.

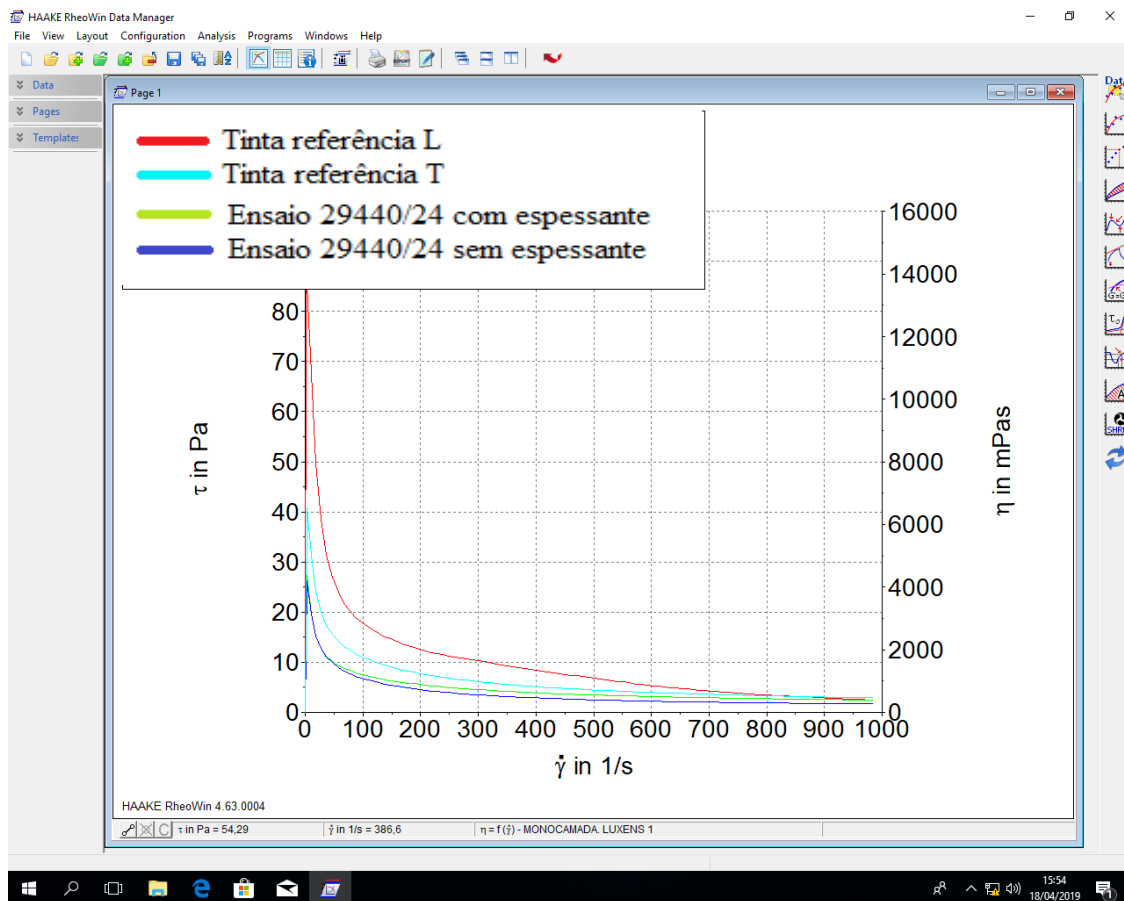


Figura 4.12 - Avaliação, nos diferentes ensaios assinalados na legenda, do efeito do espessante associativo newtoniano.

De facto, o efeito é notório. A utilização do espessante associativo newtoniano faz elevar a curva para valores maiores de viscosidade e torna o perfil da curva para *high shear*, mais newtoniano, ou seja, o declive da curva nessa região torna-se mais próximo de zero. Os valores de aplicabilidade e lacagem do ensaio 29440/24 são os valores sem espessante associativo, no entanto os valores do ensaio 29440/24 com espessante associativo newtoniano, ao nível de aplicabilidade e lacagem, foram de 3 e 4, respetivamente. Existe uma melhoria, tanto na lacagem como na aplicabilidade. Apesar de aumentar a

viscosidade da tinta, reduz as tensões e forças existentes entre partículas, sendo essencial na aproximação das mesmas de modo a melhorar a lacagem da tinta.

Voltando à figura 4.11, de realçar que a tinta L, aparenta não ter poucas ou nenhuma percentagens deste tipo de espessante devido ao perfil final da curva, com um perfil decrescente, não existindo uma viscosidade constante no fim da curva, para além do mais de a sua aplicabilidade ser bastante má com uma avaliação de 1. Por outro lado, está presente o ensaio 29440/25 que apresenta uma fase final da curva mais constante com um declive praticamente nulo, apresentando uma viscosidade independente da razão de corte dizendo-se mais newtoniano que a tinta L, traduzindo-se numa aplicabilidade bastante melhor com a avaliação de 4, numa escala de 1 a 5.

De uma perspetiva geral, o comportamento reológico de uma tinta plástica, pseudoplástico, permite avaliar o comportamento da tinta, quer na fase de armazenamento quer na fase de aplicação. Isto é, durante a fase de armazenamento a razão de corte imposta à tinta é nula, ou seja, é necessário que o sistema reológico apresente uma viscosidade elevada de modo a que as cargas e pigmentos, elementos de elevada massa volúmica, não sedimentem ao longo do tempo de armazenagem. Por outro lado, para razões de corte elevadas é necessário que a reologia da tinta permita ter uma viscosidade tal que, facilite a aplicação e lacagem.

4.7. Temperatura mínima de formação de filme

Para o caso específico das dispersões aquosas, a temperatura mínima de formação de filme varia entre os -5 °C e os +25 °C. Convém ser uma temperatura baixa, uma vez que, a aplicação deste tipo de tintas, tanto pode ser efetuado sob condições adversamente frias ou quentes. Apenas acima da temperatura mínima de formação de filme é que é garantida a coalescência perfeita.

As leituras das temperaturas mínimas de formação de filme foram efetuadas num equipamento designado de MFFT BAR.SS3000/SHEEN, a sua representação encontra-se no Anexo A5, assim como o procedimento respetivo. As temperaturas mínimas de formação de filme das tintas referência, otimização e ensaio aprovado estão apresentadas na tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Resultados obtidos das temperaturas mínimas de formação de filme (TMFF) das tintas consideradas.

Tinta	L	T	P	Otimização	29440/25
TMFF (°C)	9	3,7	11,9	9,5	8

Estes valores são dependentes de dois fatores principais, o polímero e os coalescentes. A temperatura de transição vítrea do polímero é o fator que mais afeta a temperatura mínima de formação de filme, pois o polímero apresenta uma dada temperatura para passar do estado fluido ao estado sólido. Como é lógico, a temperatura mínima de formação de filme rondará a temperatura de transição vítrea do polímero, no entanto é possível ajustar esta temperatura, com o auxílio de coalescentes, solventes de elevado ponto de ebulição e com diversas polaridades. Quanto maior for a polaridade do solvente, mais ele se difunde na película de tinta devido à afinidade com a água, permitindo uma interação mais forte entre as partículas poliméricas originando a formação de uma película rígida a temperaturas mais baixas.

Neste equipamento existe um gradiente de temperaturas que é ajustável, ou seja, é desejável escolher um gradiente de temperatura que seja a zona de trabalho para uma dada resina. No presente caso, as resinas utilizadas têm uma temperatura mínima de formação de filme de 15 °C e 20 °C, como a utilização de coalescentes baixa a temperatura de formação de filme, o gradiente escolhido para este ensaio foi de [0-18] °C, pois o valor referência é de 5 °C. Na extremidade do lado direito do equipamento encontra-se a temperatura mais elevada e a temperatura decresce da direita para a esquerda formando um gradiente de temperaturas até aos 0 °C.

Para determinar a temperatura mínima de formação de filme é necessária alguma sensibilidade, o filme vai sendo formado da direita para a esquerda como na figura 4.13, da temperatura mais elevada para a temperatura mais baixa. Com o toque sobre a película de tinta é analisada a secagem da mesma. Ao percorrer com o dedo o filme de tinta, da direita para a esquerda, até um dado ponto que a tinta pode estar seca, mas não coalescida, ou seja, se não tiver coalescido a película não apresenta resistência e desfaz-se com pouca fricção. Este processo demora algum tempo, pois a tinta para coalescer tem primeiro de passar pelo processo de secagem.

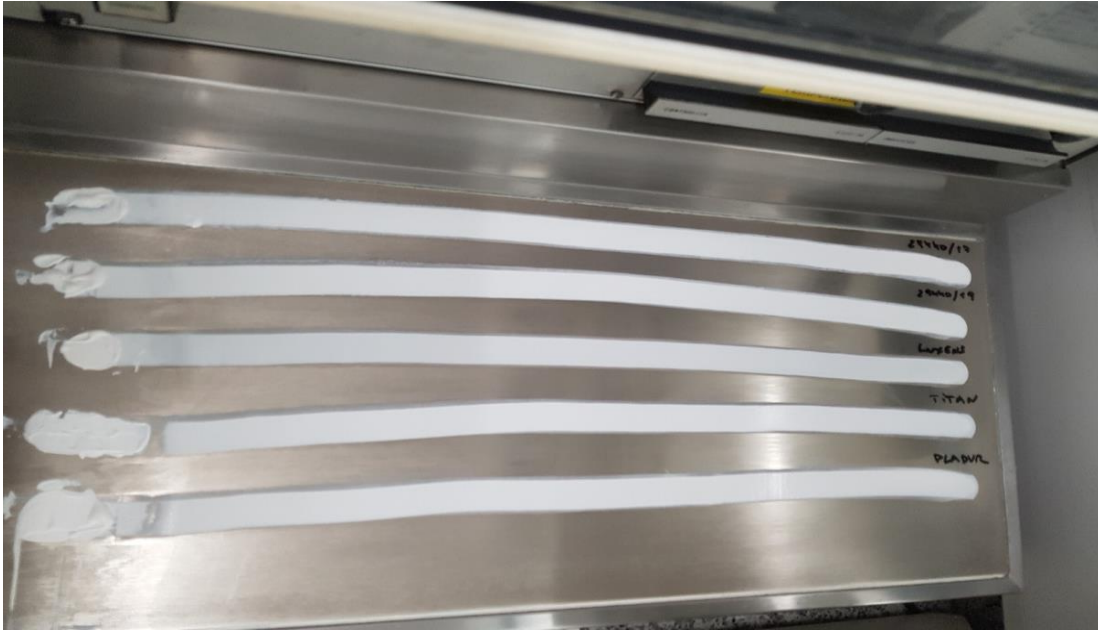


Figura 4.13 - Representação dos ensaios da determinação da temperatura mínima de formação de filme de diversas tintas.

Os valores obtidos das temperaturas mínimas de formação de filme e representados na tabela 4.15, não foram otimizados. Este parâmetro terá que ser otimizado recorrendo à alteração das percentagens de coalescentes na formulação da tinta.

Os resultados foram insatisfatórios, uma vez que, não foi atingido o objetivo dos 5 °C estabelecidos pela norma ASTM D2354 - 10(2018). No entanto, estes resultados foram todos bastante acima do valor de referência, de modo que, é necessário trabalhar este parâmetro ao nível dos coalescentes.

4.8. Resistência à esfrega húmida

A resistência à esfrega húmida trata-se de um teste que se baseia na aplicação de um filme de tinta com uma espessura definida sobre uma folha *Leneta* de PVC preta, para avaliar a alteração da película quando sujeita a ciclos de desgaste por esfrega (o procedimento encontra-se disponível no anexo A6).

Trata-se de uma simulação que tem o objetivo de confirmar a manutenção do aspeto visual quando o filme de tinta, eventualmente, for sujeito a sucessivas lavagens para limpar sujidades, riscos entre outros, depois de aplicada em superfícies. Pretende-se verificar a manutenção, ou não, das propriedades físicas que são confirmadas pela

percepção visual e mensurável através da diferença de massa perdida após o teste de esfrega. Todos os cálculos exemplificativos estão presentes no anexo B2.

Os resultados obtidos do ensaio à esfrega húmida dos ensaios selecionados encontram-se apresentados na tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Resultados obtidos, para cada uma das tintas, da perda de espessura de filme seco (μm) e classificação de cada ensaio.

	Tinta L	Tinta T	Tinta P	Otimizaç ão	29440/ 25
Ldft - Perda de espessura de filme seco (μm)	9,45	10,10	32,00	4,896	4,726
Classe	2	1	3	1	1

Os resultados deste tipo de teste advêm de alguns fatores, como, percentagem de resina que a tinta possui, bem como a percentagem de coalescente e o tipo de cargas que estão presentes, mais em concreto a granulometria delas, a estrutura e a dureza das cargas utilizadas.

Relativamente à tabela B7 (Anexo B2), os resultados obtidos são resultados da massa volúmica da tinta aplicada após a aplicação com uma espessura de filme húmido de 300 μm e depois de ter secado durante 28 dias. A massa volúmica do filme de tinta seco vem em função do tipo e percentagem de cargas e pigmentos utilizados, assim como, o de resina. A massa volúmica de filme de tinta seco mais elevada é da tinta P, uma vez que, a percentagem de resina utilizada na formulação é cerca de 6% inferior ao da tinta otimizada e ensaio 29440/25. Apesar de estas 3 tintas apresentarem, aproximadamente, a mesma percentagem de resina, a tinta P acaba por ter uma massa volúmica mais elevada porque o filme apresenta mais cargas, originando um filme mais denso que os restantes, com um valor de 2,118 g/cm^3 . Para uma dada área de filme de tinta, a tinta P, apresenta uma maior quantidade de cargas/pigmentos, que têm alta massa volúmica, quando comparada com as outras tintas.

Depois de realizados todos os cálculos necessários (exemplos de cálculos presentes no Anexo B2), os resultados obtidos são satisfatórios e alguns vão de encontro ao esperado. Quanto às tintas referência L e T nada se pode relacionar entre a composição e a classe obtida de esfrega húmida, no entanto, a classe 1 da tinta L e a classe 2 da tinta T são

resultados satisfatórios. Passando agora para as tintas das quais existe conhecimento da sua formulação, a Tinta P vem de encontro ao esperado, a matéria prima que fornece a capacidade de resistir à esfrega húmida é a resina. A resina forma uma espécie de vidro de baixa rugosidade que permite um deslizamento por parte das escovas sem ocorrência de desgaste significativo. A tinta P, por possuir apenas 10% de resina (5% de sólidos de resina) para uma elevada percentagem de cargas de 50% é natural que a resina presente, não sustente nem vitrifique o suficiente para obter uma boa classe de esfrega húmida.

As cargas presentes nesta formulação são também de elevado tamanho de partícula, fator que a prejudica neste teste. Cargas de elevado tamanho de partícula funcionam como uma lixa abrasiva, ou seja, apresentando um grão mais grosseiro desgasta mais a superfície onde se está a lixar. Neste caso acontece exatamente o mesmo, ao escovar uma superfície com uma rugosidade e porosidade maior, existe um desgaste mais considerável, apresentando uma classe 3 de resistência à esfrega húmida.

O ensaio aprovado 29440/25 e a tinta otimizada, apresentam ambos um resultado bastante bom, classe 1. Na figura 4.14 encontra-se um exemplo de uma tinta de classe 1. Embora apresentem percentagens de cargas/pigmentos semelhantes à tinta P, possuem na formulação entre 6 e 7% mais de resina, tornando o filme de tinta menos rugoso e menos poroso, existindo assim um filme de tinta mais compacto e vitrificado que a tinta P. Também algumas cargas presentes nestas formulações apresentam diâmetro de partícula menor, como é o caso do silicato de alumínio com um tamanho médio de partícula de 0,02 μm , fator que contribuiu para uma melhor resistência à esfrega húmida.



Figura 4.14 - Exemplo de aplicação de tinta em folha *Leneta* de PVC para ensaio de esfrega húmida.

O aspeto da película de tinta posterior ao ensaio da resistência à esfrega húmida é dependente do tipo de ligante utilizado, assim como, o tipo de cargas e do PVC da tinta, essencialmente. Para tintas de muito alto PVC, acima de 50, podem não aguentar os 200 ciclos, assim o método ajusta para 40 ciclos apenas.

Um parâmetro mensurável que se poderia realizar seria a variação de brilho antes e após o teste à esfrega húmida, isto é, durante o ensaio da esfrega húmida existem esfregões que fazem a própria esfrega ao longo do filme de tinta sob a forma de vaivém. Ao fazer este movimento durante algum tempo começa a existir desgaste, num filme de tinta existem cargas, pigmentos, resina, aditivos, entre outros, e quando se realiza a esfrega as matérias primas que sofrem desgaste e são removidas do filme de tinta são as cargas. Estas são prejudiciais para o brilho de uma tinta devido às propriedades óticas e estruturais que possuem. Ao serem removidas, é retirado o escudo que permite a tinta ter brilho pois, a remoção das cargas expõe ainda mais a resina presente, sendo a resina a principal matéria prima para uma tinta possuir brilho. Este teste não foi realizado, pois os objetivos iniciais não exigiam níveis de brilho, contudo num futuro próximo é provável a sua realização.

4.9. Análise económica

O desenvolvimento de uma tinta aquosa de monocamada apresenta um elevado interesse a nível económico. Neste capítulo, vai se avaliar o efeito da tinta monocamada na redução de custo na pintura de uma habitação, podendo-se fazer um upgrade para uma obra de outras dimensões.

No acabamento interior de uma habitação o esquema tradicional de pintura baseia-se na aplicação de uma demão de um isolante/primário, deixando-se secar de um dia para o outro. Esta aplicação ocorre em duas demãos de uma tinta plástica para interiores com o espaçamento de um dia para aplicar a segunda demão.

Esta análise económica baseia-se numa comparação entre o acabamento tradicional com produtos da empresa Tintas 2000 e a tinta monocamada.

Para fazer a análise económica do impacto da tinta monocamada, como em todas as tintas, é necessário saber o custo da mão de obra do aplicador e o rendimento da tinta. Após um estudo de mercado, concluiu-se que o custo da mão de obra de um pintor é de 11€ por hora de mão de obra.

As tintas escolhidas para fazer um acabamento tradicional, foram tintas escolhidas da empresa Tintas 2000. O isolante/primário escolhido foi o isolante X com o custo de 122,82 € por cada lata de 15 L com um rendimento de 8-12 m²/L, utilizou-se o valor médio de 10 m²/L e a tinta plástica para interiores foi uma tinta plástica com um custo de 145,07 € por cada lata de 15 L com um rendimento de 10-14 m²/L, assumindo um valor médio de 12 m²/L.

Assumi-se uma habitação comum, com uma área total (m²) para pintar de 454 m², foi estabelecido um tempo total de isolamento das superfícies mais a aplicação do isolante de 14 horas, o tempo necessário para a aplicação da primeira demão de tinta foi de 19 horas e 33 min aproximadamente, assim como na segunda demão. Todos os cálculos associados a esta análise económica encontram-se no anexo B1.

O custo total de mão de obra total do acabamento foi de 366,67 € e o custo total do isolante, assim como a tinta Plástica foi de 1103,53 € obtendo-se um total do acabamento de 1470,20 €.

O acabamento interior da mesma habitação utilizando um esquema de pintura baseado na utilização unicamente da tinta de monocamada traduz-se numa poupança ao nível económico, não só ao nível da tinta como também na mão de obra.

Com o acabamento da tinta de monocamada, a aplicação de apenas uma demão desta mesma tinta é o suficiente para obter o acabamento final.

A área de pintura é exatamente igual ao caso acima descrito uma área de 454 m², o tempo necessário para isolar e aplicar uma demão da tinta de monocamada para este caso foi de 14 horas, o custo da mão de obra foi de 154 €.

O custo da tinta de monocamada, após uma análise efetuada por parte do departamento financeiro da empresa Tintas 2000, é de 217,61 €, esta tinta apresenta um rendimento de 7 m²/L. O custo associado à tinta monocamada para pintar os 454 m² foi de 940,90 €, obtendo-se um custo total do acabamento de 1094,90 €.

A poupança obtida entre o acabamento tradicional e o acabamento da tinta monocamada foi de 25,53%.

5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Após o surgimento do objetivo, de formular uma tinta branca de monocamada foi realizada uma procura de mercado para encontrar concorrentes a este produto de modo a avaliar algumas das características deste.

Foram encontradas duas tintas no mercado, designadas de tintas referência, tinta L e tinta T. Neste grupo de tintas de referência foi colocada também uma tinta já da empresa tinta P, porque possui um elevado poder de cobertura.

O objetivo proposto foi formular uma tinta aquosa branca para interior que tivesse a valência de opacificar todo e qualquer reboco interior com apenas uma só demão.

Com este objetivo, concluiu-se que era necessário encontrar o grupo de cargas e pigmentos que permitissem ter uma razão de contraste elevada, superior a 98%.

A primeira fase do projeto passou pela realização de um jogo de cargas e de pigmentos, para encontrar aqueles que permitissem uma opacidade de 98%. A proporção otimizada, foi obtida de modo a existir um equilíbrio entre opacidade e viscosidade da tinta (por motivos de confidencialidade não é possível citar os nomes comerciais), com dióxido de titânio rutilo, dois tipos de silicato de alumínio, dois carbonatos de cálcio de diâmetros de partícula diferentes e uma carga pigmentada.

No início do estudo, a resina utilizada foi uma estireno-acrílica aconselhada por um fornecedor da empresa, comumente utilizada para tintas de interior por apresentar elevada resistência à esfrega húmida, devido ao monómero estireno. No entanto concluiu-se que a resina que proporcionava melhor opacidade, lacagem e aplicabilidade, não comprometendo a resistência à esfrega húmida, é uma resina já da empresa, uma resina de um copolímero de acetato de vinilo e VeoVa.

Por fim ajustou-se a fórmula com a utilização de aditivos e solventes para colmatar defeitos de aplicabilidade, lacagem, reologia, entre outros.

O ensaio selecionado, de entre todos os realizados, foi o ensaio 29440/25. A tinta desenvolvida neste ensaio cumpriu o objetivo proposto de ter elevada opacidade e de apresentar propriedades importantes ao desenvolvimento de uma tinta monocamada. Durante este estudo, foram avaliados o comportamento reológico, aplicabilidade, lacagem, *Mud Cracking*, resistência à esfrega húmida e temperatura mínima de formação de filme. A quantificação desta última propriedade foi a menos conseguida necessitando, num futuro próximo, a realização de novos ensaios.

A tinta monocamada desenvolvida (29440/25), apresenta uma elevada razão de cobertura, com um valor de 98,13%, tendo a tinta P superado este valor (98,45%), no entanto aquando do ensaio da opacidade real, a tinta P não superou o ensaio 29440/25.

A massa volúmica determinada para a tinta 29440/25, foi de 1,43 g/cm³, um pouco elevada, mas dentro dos valores das tintas referência. Todavia, este resultado é explicado, pois as cargas e pigmentos apresentam as massas volúmicas mais elevadas e esta tinta possui uma percentagem de cargas e pigmento de 50,3%. A sua viscosidade é de 112 KU, o facto de ter uma viscosidade mais baixa permite à tinta ser aplicada tal e qual é fornecida, ou seja, sem diluição. No caso das tintas concorrentes, estas indicam uma percentagem de diluição para facilitar a aplicação, que baixa consideravelmente a opacidade da tinta.

O ensaio aprovado (29440/25) apresenta um PVC de 64,9%, um valor um pouco elevado, mas necessário, de modo a construir uma tinta de elevada opacidade, mas com um preço de venda competitivo. Caso contrário, para formular uma tinta de elevada opacidade seria necessária uma elevada quantidade de titânio, o que tornaria esta tinta muito cara.

Em termos de aplicação e lacagem, o ensaio 29440/25 superou todos os outros com um valor de 4 em ambos os parâmetros numa escala de 1 a 5, devido ao tipo de resina e aditivos de aplicação, que permitiram um melhoramento desde o início dos ensaios até à escolha deste ensaio.

Este ensaio (29440/25) destaca-se também pela boa prestação no teste de resistência à esfrega húmida com a obtenção de classe 1, superando assim, uma vez mais, as tintas referência. Esta resistência é conseguida, com a percentagem de resina que possui de 16% (8,8% sólidos de resina), bem como com o conjunto de cargas e pigmentos, que tornam a sua película de tinta pouco abrasiva e propícia à esfrega e lavagem, quando comercializada e aplicada.

O único objetivo secundário que carece de uma melhoria foi o ensaio da determinação da temperatura mínima de formação de filme. É necessário diminuir a temperatura de filme para eventuais aplicações em condições ou locais adversos, através da regulação de coalescentes. Estes compostos, em consequência do seu elevado ponto de ebulição, mantêm-se na película durante mais tempo que a água, permitindo assim colmatar as formas intermoleculares e ajudar na coalescência das partículas esféricas de polímero para formar o filme.

Durante a dissertação foi possível realizar uma otimização do custo do ensaio 29440/25 através do método Solver do Excel. Apesar de ser uma otimização de variáveis antagónicas (custo e opacidade), foi possível criar uma tinta de elevada cobertura (97,93%), com uma aplicabilidade de 4 e lacagem de 3, ambas numa escala de 1 a 5, com uma poupança de 10,24% relativamente ao custo de produção do ensaio 29440/25.

Nos dias de hoje, de uma forma económica, tudo está direcionado para um único objetivo, economizar/poupar.

Através de uma análise económica ao esquema de pintura com a tinta monocamada desenvolvida, é possível verificar que esta tinta vai permitir ao consumidor uma poupança de 375,30€ no acabamento final, na base de cálculo realizada, comparativamente com os esquemas tradicionais.

A análise económica entre o acabamento tradicional e o acabamento com a tinta de monocamada resultou numa poupança de 25,53% entre os esquemas de pintura, sendo o esquema realizado com o ensaio 29440/25 muito vantajoso para os dias de hoje ao nível de qualidade de acabamento e custo.

O desenvolvimento da tinta de monocamada permite o desenvolvimento de projetos futuros e mais complexos, de forma a satisfazer todas as necessidades do cliente.

Assim, percebendo as valências que resultaram deste estudo propõe-se então os seguintes projetos:

- Desenvolvimento de uma tinta aquosa de monocamada (para sistema de afinação automática).

A partir das propriedades da tinta aquosa de monocamada, ou seja, do conjunto de cargas utilizado, desenvolver bases para o sistema de afinação automático de forma a desenvolver tintas aquosas de monocamada na cor pretendida pelo cliente.

- Estudo de uma tinta base aquosa branca de monocamada (Exterior).

Desenvolver um estudo de uma tinta aquosa branca de monocamada para aplicação em exterior, a tinta tem de ser capaz de opacificar todo e qualquer reboco apenas com uma demão de tinta, resistindo aos testes físicos e químicos necessários para validar este tipo de tintas.

6. Bibliografia

- 1- “Paints and Coatings”- <https://www.anochrome.com/technical/paints-and-coatings/> -
acedido em 28/12/2018.
- 2- American Coatings Associations “History of paint”- <https://www.paint.org/about-our-industry/history-of-paint/> -
acedido em 28/12/2018.
- 3- <https://en.wikipedia.org/wiki/Paint> -
acedido em 28/12/2018.
- 4- Nogueira, J. (2008). Noções Básicas de Tintas e vernizes. ARCP – Associação Rede
Competência em Polímeros, Porto- volume 1.
- 5- Tintas Plásticas para Construção Civil”, Resiquímica, 2001.
- 6- A.R.Marrion (ed), The Chemistry and Physics of coatings, Royal Society of
Chemistry, Cambridge, p.144.
- 7- Bastos, António (1999). *Comportamento Anticorrosivo de Tintas de Base Aquosa
Aplicadas Em Substratos Ferrosos*, Tese de Mestrado em Química, Faculdade de
Ciências da Universidade do Porto.
- 8- R. M. Rynders, C. R. Hegedus, A. G. Gilicinski (1995). Characterisation of particle
coalescence in waterborn coatings using atomic force microscopy, J. Coat.
Technology, 67(845):59-69.
- 9- Nogueira, J. L. (2008). Noções Básicas de Tintas e Vernizes. Volume 2, ARCP –
Associação Rede Competência em Polímeros, Porto.
- 10- Interbrasil S.A. “O Dióxido de Titânio” - www.interbrasilsa.com/o-dioxido-de-titanio/,
acedido a 25/03/2019
- 11- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_tit%C3%A2nio#/media/Ficheiro:Titanium\(IV\)_oxide.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_tit%C3%A2nio#/media/Ficheiro:Titanium(IV)_oxide.jpg),
acedido a 05/07/2019
- 12- Matos M. (2008) *Estudo da Incorporação de Estearatos em Tintas de Forma a
Aumentar a sua Impermeabilidade à Água*. Instituto Politécnico de Bragança. 85pp
- 13- Heinz D. e Holzinger F. (1990). Kronos International, Inc. Alemanha.
- 14- Chhabra, R.P and Richardson (1999). “Non-Newtonian Flow in the Process Industries
– Fundamentals and Engineering Applications”, Butterworth Heinemann, Oxford,
UK.
- 15- Joseph Y Koleske (1995). *Paints and Coatings testing Manual*, 14th Edition.
- 16- Nogueira, J. (2008). Noções Básicas de Tintas e vernizes. Volume 3, ARCP –
Associação Rede Competência em Polímeros, Porto.

Anexo A – Procedimentos Experimentais

A1 – Grau de Dispersão

➤ Objetivo e conceitos

- Determinar o grau de dispersão de uma tinta.
- O ponto ótimo é mensurável através de um instrumento, um Hegman, que possui uma escala de moagem medida nas unidades Hegman. Este instrumento encontra-se representado na figura A.1.
- A figura A.1 representa um Hegman, que é constituído por um bloco de aço contendo uma faixa de inclinação variável cuja profundidade varia de uma extremidade para a outra juntamente com a respetiva escala colocada de lado do medidor.
- A leitura consiste na colocação de uma pequena quantidade de tinta na extremidade mais profunda e com o auxílio de um bloco fino de aço arrasta-se essa quantidade de tinta ao longo da faixa, a leitura é feita através da escala ao lado em Hegman ou micrómetros.
- Uma boa moagem é fundamental para garantir que a dispersão do pigmento se encontra no ponto ótimo da dispersão, de modo que, brilho, opacidade e cor da tinta não tenham sido afetadas posteriormente da conclusão da tinta.



Figura A.1 - Régua de Moagem.

➤ Material

- Bloco metálico com uma ranhura de profundidade variada entre extremidades (figura A.1);
- Rasoira.

➤ Procedimento

1. Consiste em colocar uma pequena quantidade de tinta na extremidade mais profunda e com o auxílio da rasoira arrastar ao longo da faixa até à extremidade menos profunda;
2. Verificar se existem partículas sólidas por dispersar, ou “foguetes”, que são partículas sólidas que ao serem arrastadas pela rasoira criam um risco sem tinta ao longo do bloco metálico;
3. A leitura é efetuada pela análise da escala, em Hegman, que se encontra na parte lateral do bloco metálico, a leitura é realizada no ponto onde se encontram partículas por dispersar.

A2 – Determinação da viscosidade Stormer

➤ Objetivo

- Determinar a viscosidade Stormer de uma tinta.

➤ Material

- Termómetro;
- Viscosímetro Stormer Krebs manual.

➤ Procedimento

1. Após a tinta estar à temperatura de 20 °C, coloca-se a tinta num recipiente e coloca-se no local indicado para efetuar a leitura da viscosidade no aparelho;
2. De seguida, baixar a haste até à superfície da amostra até atingir uma marca de referência na haste metálica. Colocar pesos no equipamento de forma no leitor digital atingir um valor constante de 200 (valor referência);
3. O resultado da viscosidade é obtido através da conversão entre os pesos necessários a viscosidade em KU.

A3 - Determinação da massa volúmica de uma tinta

Baseado na norma ASTM D1475 – 13.

➤ Material/Equipamento

- Picnómetro aço inoxidável (capacidade 50 ou 100 mL);
- Balança semi-analítica ($\pm 0,01$ g).



Figura A.2 - Picnómetros de 100 e 50 mL

➤ Procedimento

1. Numa primeira etapa, começa-se por termostatar o picnómetro e o revestimento a testar (23 ± 2 °C) e por pesar o picnómetro vazio;
2. Em seguida enche-se o picnómetro com a amostra, tendo o cuidado de evitar bolhas de ar;
3. Coloca-se a tampa do picnómetro, removendo o excesso de amostra existente;
4. Por fim pesa-se o picnómetro cheio e determina-se a massa volúmica do revestimento pela equação A1:

$$d = \frac{P_c - P_v}{V} \quad (A1)$$

Em que:

d-massa volúmica (g/cm^3)

P_v-Peso picnómetro vazio (g);

P_c- Peso picnómetro cheio amostra a testar (g);

V-Volume picnómetro (cm^3).

A4 - Determinação da razão de contraste de revestimentos

➤ Objetivo:

- Determinar a razão de contraste de revestimento, recorrendo para tal à utilização do espectrofotómetro.

➤ Material/Equipamento

- Carta de contraste - *Leneta* (Figura A.3);
- Aplicador de espessura 100 μm ;
- Espectrofotómetro;
- Acessórios de calibração.

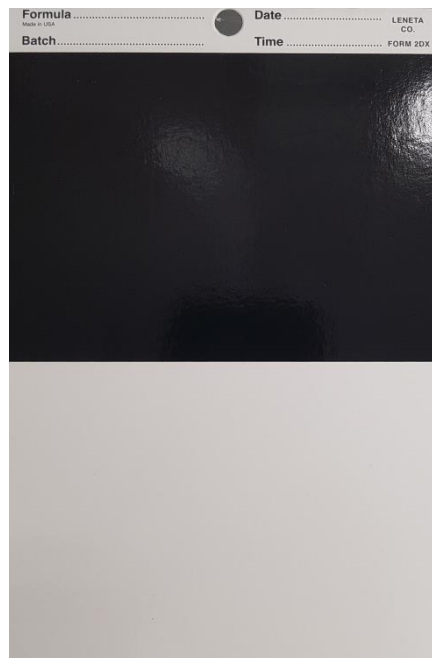


Figura A.3 – Representação de uma carta *Leneta*, para determinação da brancura e razão de contraste.

➤ Procedimento

Determinação da razão de contraste do revestimento:

1. Sobre uma carta de contraste, aplica-se um filme de revestimento com espessura húmida 100 μm (recorrendo à utilização de um aplicador);
2. 24 h após a aplicação do filme no substrato a determinação do parâmetro, razão de contraste é obtida, recorrendo ao Espectrofotómetro;
3. Efetuam-se 3 leituras na zona preta da carta e 3 leituras na zona da carta a branco.
4. A determinação da opacidade é feita por média das leituras anteriormente realizadas.

A5 – Resistência à fissuração (*Mud Cracking*)

➤ Objetivo

- Avaliar a fissuração a espessuras elevadas de revestimentos.

➤ Material

- Bloco metálico Meier Gauge (Simex Gama 0-2 mm) / Rasoira;
- Lupa.

➤ Procedimento

1. Aplicar uma quantidade de revestimento na parte mais funda do bloco metálico, espalhando cuidadosamente.
2. Em seguida arrasta-se a referida quantidade com auxílio de uma rasoira da parte mais funda para a menos funda até o bloco metálico estar completamente coberto com o filme de revestimento.
3. Deve deixar-se secar durante cerca de 24 h, numa sala climatizada;
4. Após o referido tempo e com ajuda de uma lupa, verificar o local do filme a partir do qual aparece fissuração da película, observando o filme aplicado da parte menos espessa para a mais espessa.

Resultado: O resultado é dado pela leitura da escala em (micrómetros), localizada na parte lateral do bloco metálico, onde se deu início a fissuração (Figura A.4).

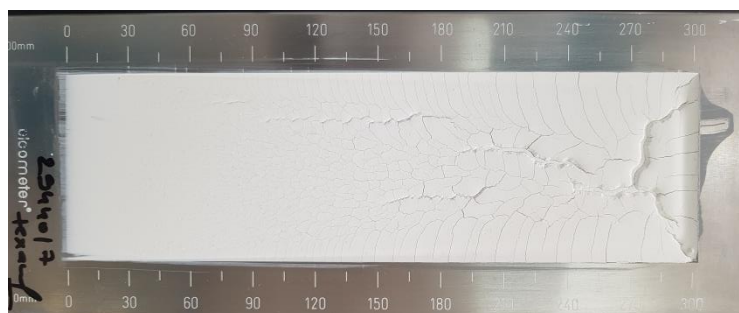


Figura A.4 - Bloco metálico para *Mud-Cracking* Meier.

A6 - Determinação da temperatura mínima de formação de filme

➤ Objetivo

- Este procedimento tem como objetivo a determinação da temperatura mínima de formação de filme (T.M.F.F).

➤ Referências

- PQ 08 – Aquisição de Bens e Serviços;
- PQ 09 – Gestão de Produção;
- Manual de Instruções MFFT BAR.SS3000/SHEEN.

➤ Material e Equipamento

- Minimum Film Forming Temperature Bar (L16.1.01).
- Filmógrafo cúbico para 75 µm/37 µm.

- Espátula.

➤ Procedimento

Instruções sobre o aparelho de TMFF (Figura A.5)

1. Verificar se a superfície metálica, onde se realiza o ensaio, está limpa e isenta de gorduras;
2. Verificar se no reservatório sílica-gel, os cristais se encontram azuis (isentos de humidade). No caso de se encontrarem cor-de-rosa, devem ser colocados na estufa até atingirem a cor azul;
3. Abrir a torneira da água fria. Verificar a circulação de água, através da existência de uma bolha situada no controlador, que se encontra no lado esquerdo do aparelho;
4. Abrir totalmente a válvula do ar;
5. Fechar a tampa de proteção da superfície metálica;
6. Selecionar o programa de temperatura no regulador que se encontra no lado direito do painel frontal. São possíveis 6 programas correspondentes às seguintes gamas de temperatura (Tabela A1);
7. Ligar o aparelho através do interruptor principal (MAIN ON);
8. Aguardar até que se atinja um equilíbrio térmico (temperatura constante no visor do painel frontal). Após ocorrer o equilíbrio térmico este é assinalado pelo piscar dos dois indicadores luminosos (COOLING e HEATING).

Tabela A1 – Representação dos gradientes de temperatura existentes no equipamento MFFT BAR.SS3000/SHEEN

RANGE	1	2	3	4	5	6
HOT ° C	13	18	23	3	50	60
COOL ° C	-5	0	5	15	23	33

OBS: Caso a torneira da água fria e/ou a válvula do ar se encontrarem fechadas, será acionado um sinal sonoro e luminoso (COOLANT FAIL);

- **Instruções sobre a aplicação da amostra**
 1. Aplicar sobre a superfície metálica a amostra a ensaiar, usando um filmógrafo cúbico para 75 µm de espessura húmida, no sentido da direita para a esquerda (temperatura mais elevada para a mais baixa);
 2. É possível ensaiar mais do que 1 amostra num máximo de 10 amostras, desde que a operação seja efetuada em menos de 10 min;
 3. Caso ocorra uma falha de aplicação de uma faixa, deve ser fechada a tampa para evitar a formação de gelo;
 4. Reabrir a tampa assim que a nova amostra esteja preparada.
- **Limpeza do aparelho**
 1. A limpeza do aparelho deve ser efetuada imediatamente logo após a sua utilização, através de um detergente líquido aplicado com uma esponja de nylon, ou em casos mais difíceis através de um solvente aplicado com um pincel de pelo macio, e de seguida limpar com um pano macio;
 2. Deve-se ter cuidado para não deixar o solvente atacar o vedante da placa.
- **Resultados**
- **Determinação do valor da TMFF**
 1. Após a formação de filme da amostra em ensaio deve-se colocar o cursor (situado na tampa de vidro de proteção à superfície metálica) para o ponto onde o filme se formou;
 2. Registrar o número da escala correspondente ao local de início de formação de filme e rodar o registo de temperatura no painel frontal para o valor registado da escala (Ex: o filme iniciou-se na posição 6 da escala, então coloca-se o registo de temperatura na posição 6) regista-se o valor da temperatura mínima de formação de filme;
 3. Registrar os valores num dos seguintes documentos, consoante a situação:
 4. Ficha de Ensaio Mod. DQ-14;
 5. Boletim de controlo de receção Mod.DQ-06.

➤ Equipamento



A.5 – Representação do equipamento da determinação da temperatura mínima de formação de filme.

A7 - Determinação da resistência à esfrega húmida e à lavabilidade de um revestimento

➤ Objetivo

- O objetivo deste método consiste em avaliar a resistência à esfrega húmida e à lavabilidade de um revestimento.

➤ Definição

- Existem duas definições baseadas em duas normas europeias, a NP 4378:1999 e a NP EN ISSO 11998:2012. De acordo com estas duas normas, existem as seguintes definições:

Segundo a norma NP 4378:1999

- Resistência à lavagem: resistência ao desgaste por fricção durante 1000 ciclos, sem que, em condições adequadas, apresente desgaste;
- Resistência à esfrega: resistência ao desgaste por fricção durante 5000 ciclos, sem que, em condições adequadas, apresente desgaste.

Segundo a norma NP EN ISSO 11998:2012

- Lavabilidade: capacidade de uma película de tinta seca resistir à penetração dos agentes de sujidade e de se libertar deles durante o processo de limpeza, sem remover mais do que uma determinada espessura de película;

- Ciclo de esfrega: movimento de vaivém do utensílio de esfrega ao longo do comprimento total da esfrega em ambas as direções;
- Resistência à esfrega húmida: capacidade de uma película de tinta seca sofrer uma perda média de espessura de película, menor do que a especificada numa área definida, quando submetida a 200 ciclos de esfrega húmida.

Determinação da resistência à lavagem e à esfrega húmida, segundo NP 11998:2012.

➤ Material e Equipamento

- Equipamento de esfrega húmida preparado para a norma ISSO 11998 (L22.1.02) (Figura A.6);
- Utensílio de esfrega cinzento (dimensões: 90x39x5mm) 3M Scotch Brite, N°7447, tipo S, grau UFN colocadas num bloco metálico de 89x38,5mm;
- 3 folhas *Leneta* refª P121.10N (dimensões: 432x165x0,2mm) em PVC de cor negra e fosca;
- Aplicador de espessura variável-Micrómetro Refª 3580/3 (L05.3.02);
- Balança analítica Mettler (I15.1.18);
- Trincha macia;
- Cronómetro;
- Régua;
- Solução de dodecilbenxenosulfonato de sódio 0,25% (3,3 g Marlon A375 75% em 1 litro solução). A solução deve ser bem homogeneizada e deve repousar 48 horas antes da sua utilização;
- Micrómetro digital Mitutoyo (L05.3.03).

➤ Procedimento

1. Sobre as folhas *Leneta*, aplicar um filme de revestimento com uma espessura húmida de 300 µm;
2. Deixar secar este filme durante 7 a 28 dias na sala de temperatura e humidade controladas, conforme seja solicitado;
3. O filme é aplicado em triplicado para que se possa fazer um ensaio ao fim de 7 dias e outro ao fim de 28 dias, a terceira folha *Leneta* aplicada será utilizada para determinar a massa volúmica do revestimento seco;
4. Proceder da mesma forma para 7 e 28 dias de secagem;

5. Colocar o substrato de ensaio revestido no tabuleiro do aparelho de ensaio à esfrega húmida sobre uma placa de vidro amovível e prendê-lo com os grampos do equipamento;
6. Espalhar o líquido de lavagem com uma trincha macia sobre a superfície do revestimento. Deixar o líquido em contacto com o revestimento durante 60 segundos;
7. Saturar o utensílio de esfrega com o líquido de lavagem até obter uma massa final de $4 \pm 0,5\text{g}$;
8. Colocá-lo no respetivo suporte e em contacto com a película da tinta;
9. Assegurar que os cabos de transporte estão paralelos à superfície do provete e que o suporte do utensílio de esfrega não está “solidário” com o dispositivo de montagem;
10. Ligar o aparelho de ensaio à esfrega e executar 200 ciclos. O líquido de lavagem em excesso aplicado com a trincha será removido praticamente todo, no primeiro ciclo;
11. Retirar o provete do aparelho e da placa de vidro e passar imediatamente por água da torneira, deixando secar até massa constante na mesma atmosfera padrão;
12. Registrar a massa residual seca do substrato de ensaio revestido com a película de tinta, com a aproximação de 1 mg.

➤ Resultados

Área percorrida pelo utensílio

A área A, em metros quadrados, percorrida pelo utensílio de esfrega é dada pela equação A2:

$$A = \frac{W \cdot S}{10^6} \quad (\text{A2})$$

Em que:

S é o comprimento de esfrega em milímetros (no caso 380 mm);

W é a largura, em milímetros, do utensílio de esfrega (no caso 40 mm).

A largura deverá ser obtida por determinação, com exatidão de 0,5 mm, da largura média do utensílio de esfrega ou da área sujeita à abrasão no provete, através da régua.

Perda de massa da película

A perda média de massa do revestimento por unidade de área (L), em gramas por metro quadrado, é dada pela equação A3:

$$L = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (\text{A3})$$

Em que:

A é a área, em metros quadrados, percorrida;

m_1 é a massa inicial, em gramas, do substrato + película seca de revestimento;

m_2 é a massa, em gramas, do substrato + película seca, após 200 ciclos de esfrega.

Cálculo da perda média de espessura da película

A perda média de espessura seca da película L_{dft} , em micrómetros, pode ser calculada pela equação A4:

$$L_{dft} = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{filme\ seco}} * \frac{1}{A} = \frac{L}{\rho_{filme\ seco}} \quad (\text{A4})$$

Onde:

$\rho_{filme\ seco}$ é a massa volúmica de espessura da película seca, em gramas por mililitro, determinada de acordo com o seguinte ponto.

Determinação da massa volúmica da película seca do produto de pintura e cálculos complementares

- Determinação da massa volúmica do substrato ($Leneta$)
 1. Pesar carta $Leneta$, massa ($Leneta$), em gramas.
 2. Medir a carta $Leneta$, largura ($Leneta$) e comprimento ($Leneta$), em cm.
 3. Medir espessura do substrato em 4 pontos diferentes, espessura ($Leneta$), em micrómetros. Utilizar a média dos valores obtidos.

Equação A5 : ρ_{Leneta}

$$= \frac{\text{massa } (Leneta)}{\text{largura } (Leneta) * \text{comprimento } (Leneta) * \text{espessura } (Leneta)}$$

➤ **Determinação da massa volúmica da película seca do revestimento**

1. Cortar 1 retângulo de dimensões 15 x 5 cm da terceira carta *Leneta* aplicada com o revestimento a ensaiar, procurando um corte no centro da aplicação.
2. Pesear a amostra, massa (*Leneta*+tinta), na balança de exatidão 1mg.
3. Com o medidor de espessura determinar a espessura, espessura (*Leneta* + tinta), em 4 pontos diferentes da amostra. Fazer a média dos valores obtidos.

$$\text{Equação A6: } \rho(\text{Leneta} + \text{tinta}) = \frac{\text{massa}(\text{Leneta} + \text{tinta})}{15 * 5 * \text{espessura}(\text{Leneta} + \text{tinta})} * 10000$$

➤ **Determinação da massa da amostra (apenas revestimento)**

Equação A7 : massa tinta

$$= \text{massa}(\text{Leneta} + \text{tinta}) - \frac{\rho_{\text{Leneta}} * l_{\text{Leneta}} * c_{\text{Leneta}} * \text{espessura Leneta}}{10000}$$

➤ **Determinação da espessura de película de tinta**

$$\text{Espessura (tinta)} = \text{Espessura}(\text{Leneta} + \text{tinta}) - \text{Espessura}(\text{Leneta})$$

➤ **Determinação da massa volúmica do filme seco**

Equação A8 : $\rho_{\text{filme seco}}$

$$= \frac{\text{massa}(\text{tinta})}{l(\text{Leneta} + \text{tinta}) * c(\text{Leneta} + \text{tinta}) * \text{espessura}(\text{tinta})}$$

Após os 200 ciclos de esfrega se a perda for superior a 70 μm de esfrega, deve repetir-se o procedimento submetendo a folha *Leneta* com o revestimento a apenas 40 ciclos.

➤ **Avaliação da resistência à esfrega húmida**

A avaliação da resistência à esfrega húmida é classificada de acordo com a perda de espessura do revestimento, nas seguintes classes: baseado na NP EN 13300 - 2004 - Tintas e Vernizes - Produtos de pintura e esquemas de pintura para paredes e tetos no interior (Tabela A2).

Tabela A2 – Método de classificação de cada tinta no ensaio da resistência à esfrega húmida.

Classes	Perda de espessura
Classe 1	$< 5 \mu\text{m}$, após 200 ciclos
Classe 2	$\geq 5 \mu\text{m}$ e $< 20 \mu\text{m}$, após 200 ciclos
Classe 3	$\geq 20 \mu\text{m}$ e $< 70 \mu\text{m}$, após 200 ciclos
Classe 4	$< 70 \mu\text{m}$, após 40 ciclos
Classe 5	$\geq 70 \mu\text{m}$, após 40 ciclos

➤ **Equipamento**



A.6 – Representação do equipamento para a determinação da resistência à esfrega húmida.

Anexo B – Exemplos de Cálculo

Exemplo de cálculo da determinação do número de litros de tinta necessário para efetuar o acabamento tradicional e o acabamento económico.

B1 - Exemplo de cálculo (análise económica)

1 – Acabamento Tradicional

Após um estudo de mercado, concluiu-se que o custo da mão de obra de um pintor, ronda os 11 €/hora. As tabelas B1 e B2 apresentam as áreas e tempos necessários para aplicação das pinturas.

Tabela B1 - Valores definidos para as áreas das divisões da habitação e respetivos tempos de isolamento + pintura do isolante.

Divisão	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Sala	2 Corredores	Garagem
Área (m^2)	56	70	56	96	68	108
Tempo (min)	120	120	120	180	120	180

Obteve-se um total de área de $454 m^2$ e um tempo total de 840 min correspondendo a 14 horas de mão de obra.

Tabela B2 - Valores definidos para os tempos necessários para efetuar a pintura da 1ª e 2ª demãos de tinta plástica.

Divisão	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Sala	2 Corredores	Garagem
Área (m^2)	56	70	56	96	68	108
Tempo 1ª demão (min)	70	90	70	120	80	150
Tempo 2ª demão (min)	70	90	70	120	80	150

Obteve-se um total de área de 454 m^2 e um tempo total de 1160 min correspondendo a 19,33 horas de mão de obra.

Assim o total de horas para efetuar o acabamento tradicional de pintura de uma habitação é de 33,33 horas, de acordo com a soma de horas do isolante e da aplicação das duas demãos de tinta plástica.

Custo associado à mão de obra

$$\text{Custo mão de obra} = 33,33(h) * 11 \frac{\text{€}}{h} = 366,667 \text{ €} \quad (\text{B1})$$

➤ **Cálculo do número de litros de isolante e tinta plástica necessário**

$$\text{Litros de tinta necessários} = \frac{\text{Total da area da habitação (m}^2\text{)}}{\text{Rendimento da tinta (}\frac{\text{m}^2}{\text{L}}\text{)}} \quad (\text{B2})$$

$$\text{Litros de isolante necessário} = \frac{454 \text{ (m}^2\text{)}}{10 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{L}}\right)} = 45,4 \text{ L}$$

$$\text{Litros de tinta plástica necessários} = \frac{454 \text{ (m}^2\text{)}}{12 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{L}}\right)} = 37,83 \text{ L}$$

Para a análise económica, o esquema de pintura tradicional foi baseado em tintas provenientes na empresa Tintas 2000, que por motivos de confidencialidade não é possível revelar o nome comercial das mesmas.

Na tabela B3 estão representados os tipos de tintas e respetivos custos e rendimentos de aplicação das tintas, para o esquema de pintura tradicional.

Tabela B3 - Valores do nº de litros de tinta necessários, custo de cada lata de 15L e respetivo rendimento.

Tinta	Nº de litros de tinta necessários (L)	Custo Lata de 15L	Rendimento ($\frac{\text{m}^2}{\text{L}}$)
Isolante	45,4	122,82	10
Tinta Plástica	37,83	145,07	12

➤ **Cálculo do custo total de tinta:**

$$\text{Custo do isolante} = \frac{\text{Nº de litros de Isolante} * \text{Custo do Isolante (15L)}}{15 \text{ L}} \quad (\text{B3})$$

$$\text{Custo do isolante} = \frac{45,4 * 122,82}{15} = 371,7352 \text{ €}$$

$$\text{Custo da tinta plástica} = \frac{37,83 * 145,07}{15} * 2 \text{ demãos} = 731,7976\text{€}$$

➤ **Custo Total do acabamento:**

$$\text{Custo Total} = \Sigma \text{Custos} = \text{Custo mão de obra} + \text{Custo Isolante} + \text{Custo tinta plástica} \quad (\text{B4})$$

$$\text{Custo Total} = 366,667 + 371,7352 + 731,7976 = 1470,199\text{€}$$

2 – Acabamento Económico

O custo associado à mão de obra mantém-se igual à situação acima descrita de 11€/hora. A tabela B4 apresenta as áreas e tempos necessários para aplicação da tinta monocamada.

Tabela B4 - Valores definidos para a área total da habitação assim como os tempos necessários para isolar e pintar com 1 demão da tinta monocamada.

Divisão	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Sala	2 Corredores	Garagem	Total	Total (h)
Área (m ²)	56	70	56	96	68	108	454	
Tempo (min)	120	120	120	180	120	180	840	14

Assim verifica-se uma redução no tempo total gasto neste esquema de pintura relativamente ao acabamento tradicional, sendo o tempo total gasto de 14 horas, com um custo associado de 154 €. Mantem-se igualmente constante os m² da habitação de 454 m².

➤ **Custo associado à mão de obra (equação B1):**

$$\text{Custo mão de obra} = 14(h) * 11 \frac{\text{€}}{h} = 154 \text{€}$$

➤ **Cálculo do número de litros de tinta monocamada necessário (equação B2):**

$$\text{Litros de tinta necessários} = \frac{\text{Total da área da habitação (m}^2\text{)}}{\text{Rendimento da tinta } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{L}}\right)}$$

$$\text{Litros de isolante necessário} = \frac{454 \text{ (m}^2\text{)}}{7 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{L}}\right) 2} = 64,857 \text{ L}$$

➤ **Custo da tinta monocamada (equação B3):**

Custo da monocamada

$$= \frac{N^{\circ} \text{ de litros de monocamada} * \text{Custo da tinta monocamada (15L)}}{15L}$$

$$\text{Custo da tinta monocamada} = \frac{64,857 * 217,61}{15} = 940,904\text{€}$$

Na tabela B5 estão representados, para a tinta monocamada, os respectivos custos e rendimentos de aplicação.

Tabela B5 - Valores do n° de litros de tinta necessários, custo de uma lata de 15L e respectivo rendimento da tinta monocamada.

Tinta	N° de litros de tinta necessários (L)	Custo Lata de 15L (€)	Rendimento ($\frac{m^2}{L}$)
Tinta Monocamada	64,857	210,07	7

➤ **Custo Total do acabamento (equação B4):**

$$\text{Custo Total} = \Sigma \text{Custos} = \text{Custo mão de obra} + \text{Custo tinta monocamada}$$

$$\text{Custo Total} = 154 + 940,904 = 1094,904\text{€}$$

➤ **Poupança entre acabamentos:**

$$\text{Poupança} = \frac{\text{Custo Acabamento tradicional} - \text{Custo Acabamento monocamada}}{\text{Custo Acabamento Tradicional}} * 100 \quad (\text{B5})$$

$$\text{Poupança (\%)} = \frac{1470,199 - 1094,904}{1470,199} * 100 = 25,527\%$$

$$\text{Poupança (€)} = 1470,199 - 1094,904 = 375,295\text{€}$$

B2 - Exemplo de cálculo (Esfrega Húmida)

O exemplo de cálculo descrito será associado ao ensaio da resistência à esfrega húmida, da tinta L (Tabela B6).

Tabela B6 - Valores associados à carta *Leneta* preta.

Parâmetros Intermédios	Resultados
Massa do substrato (g)	22,64
Área do substrato (cm ²)	712,8
Espessura média do substrato (µm)	249
E1	249
E2	249
E3	249
E4	249
Massa volúmica do substrato (g/cm ³)	1,275585

A área do substrato *Leneta* é mantido constante, com um valor de comprimento de 43,2 cm * 16,5 cm de largura. Recorrendo à equação B4 do Anexo B determina-se a massa volúmica do substrato (*Leneta*).

➤ Cálculo da massa volúmica do substrato $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$:

$$Massa\ volúmica\ do\ substrato\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{22,64 * 10000}{43,2 * 16,5 * 249} = 1,275585\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) \quad (B6)$$

Tabela B7 - Valores registados das espessuras médias da amostra *Leneta*.

Parâmetros Intermédios	Resultados
Massa da amostra (g)	3,53
Área da amostra (cm ²)	75
Espessura média da amostra (µm)	343
E'1	344
E'2	341
E'3	343
E'4	344

Através da equação B6 do Anexo B é possível calcular a massa de amostra (apenas revestimento):

➤ **Determinação da massa da amostra (apenas revestimento):**

$$massa\ tinta = 3,53 - \frac{1,275585 * 712,8 * 249}{10000} = 1,266\ g \quad (B7)$$

Através do resultado anterior é possível agora calcular a massa volúmica do filme seco ($\frac{g}{cm^3}$) através da equação B5 do Anexo B:

$$\rho_{filme\ seco} = \frac{1,266}{15 * 5 * 94} * 10000 = 1,7957 \left(\frac{g}{cm^3}\right) \quad (B8)$$

Tabela B8 - Valores obtidos da massa da amostra e do filme seco.

Parâmetros Intermédios	Resultados
Massa da amostra (g)	1,266
Área da amostra (cm ²)	75
Espessura média da amostra (µm)	94
Massa volúmica do filme seco (g/cm ³)	1,795744681

Depois de determinado a massa volúmica do filme seco é necessário determinar a área da superfície de esfrega (m^2) a partir da equação B1 do Anexo B, para posteriormente calcular a perda de peso do filme seco.

➤ **Cálculo da área da superfície de esfrega (m^2):**

$$A = \frac{380 * 40}{10^6} = 0,0152\ (m^2) \quad (B9)$$

De seguida é necessário calcular a perda de peso por unidade de área ($\frac{g}{cm^2}$) recorrendo à equação B2 do Anexo B

➤ **Perda de peso por unidade de área ($\frac{g}{cm^2}$):**

$$L = \frac{30,366 - 30,108}{0,0152} = 16,97368\ \frac{g}{cm^2} \quad (B10)$$

Agora é possível calcular a perda de espessura, critério que vai determinar a classe de cada uma das tintas. A partir da equação B3 do Anexo B calcula-se o Ldft.

➤ **Cálculo da perda de espessura do filme seco (µm):**

$$Ldft = \frac{16,97368}{1,7957} = 9,4522\ microns, Classe\ 2 \quad (B11)$$

Tabela B9 - Valores registados da massa da *Leneta* antes da esfrega húmida.

Parâmetros Intermédios	Resultados
m1 - Antes da Esfrega (secagem 7-28 dias)	
M'1	30,366
M'2	0
M' media	30,366

Tabela B10 - Valores registados da massa da *Leneta* após a esfrega húmida.

Parâmetros Intermédios	Resultados
m² -Depois da Esfrega (secagem 24 h)	
M''1	30,108
M''2	0
M'' media	30,108

Em que, M''1 - massa da *Leneta* após a esfrega húmida.

Tabela B11 - Valores obtidos da perda de peso por unidade de área e perda de espessura de filme seco após o ensaio da resistência à esfrega húmida.

Parâmetros Intermédios	Resultados
Comprimento de esfrega (mm)	380
Largura de Esfrega (mm)	40
Área da superfície de esfrega (m²)	0,0152
L - Perda de peso por unidade de área (g/m²)	16,97368421
Ldft - Perda de espessura de filme seco (µm)	9,452170117

A classificação de cada tinta é baseada na norma NP EN 13300:2004 (Tabela B12).

Tabela B12 - Critério de classificação de cada tinta no ensaio de resistência à esfrega húmida.

Critério de Classificação	Classificação
Ldft > 70 µm após 40 ciclos	Classe 5
Ldft < 70 µm após 40 ciclos	Classe 4
Ldft < 70 µm após 200 ciclos	Classe 3
Ldft < 20 µm após 200 ciclos	Classe 2
Ldft < 5 µm após 200 ciclos	Classe 1