

# Mestrado Integrado em Engenharia Química

## *Desenvolvimento do Instrumento Laboratorial ROBpaint Estudos de Reologia*

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

**Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial**

Filipa Alexandra Lourenço Oliveira

Fluidinova/Barbot



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
**FEUP**

**Departamento de Engenharia Química**

Orientador na FEUP: **Doutora Madalena Dias**

Orientadores na empresa: **Eng. António Gouveia**

**Eng. João Braga**

**Julho de 2008**

---

*Some men see things as they are and say why.  
I dream things that never were and say why not.*

*John F. Kennedy*

---

## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de deixar aqui bem presente, todo o apoio prestado, o tempo e empenho dedicado na realização e orientação deste trabalho, pelo Engenheiro António Gouveia (Fluidinova), que acima de tudo se sobressaiu pela sua competência, pelo seu companheirismo e compreensão.

Gostaria de salientar o contributo da Professora Madalena Dias (FEUP) e do Professor José Carlos Lopes (Fluidinova) que incentivaram o espírito inovador deste trabalho, mostrando-se totalmente disponíveis para prestar todo o auxílio e pelo afecto que sempre me mostraram.

Ao Engenheiro João Braga (Barbot) por acreditar desde o início e aceitar participar neste projecto prontificando-se a colaborar incondicionalmente.

Ao Engenheiro André Teixeira (Fluidinova) por ter confiado e me ter atribuído o desenvolvimento deste projecto e por toda a preocupação que demonstrou ao longo deste período de estágio.

Aproveito também para mencionar o Virgílio Sá (Barbot) pela assistência e atenção dispensada.

A todos os colegas da Barbot pelo incansável auxílio e pela cooperação dispensada tornando todos os momentos ímpares.

Aos meus colegas da Fluidinova pela amizade e por proporcionarem auxílio e disponibilidade permanente.

A todos os meus amigos pelo ânimo e momentos de convívio que passamos.

Por último, mas não menos importante, deixo aqui também o meu muito obrigado à minha família pelo carinho e conforto que me dedicaram.

A todos deixo o meu afável e reconhecido agradecimento.

---

## Resumo

Hoje em dia, a necessidade do uso de tintas não só para fins decorativos mas principalmente para proteger os materiais, tem motivado a expansão da indústria de tintas.

Ao nível do controlo de qualidade das tintas, são efectuados diversos testes laboratoriais aos seus constituintes, características e formas de utilização, para determinar a sua aplicabilidade, o tempo de secagem, a aderência às superfícies bem como a resistência e durabilidade da sua película.

No sentido de melhorar a reprodutibilidade e extinguir a imprecisão inerente às aplicações actualmente feitas em laboratório por um operador humano, foi criada uma nova tecnologia, o ROBpaint - Instrumento Laboratorial, que se pretende testar no presente trabalho.

Os dois objectivos foram: compreender o modo de funcionamento do equipamento e comprovar a sua reprodutibilidade; utilizar o ROBpaint pela primeira vez nos laboratórios da Barbot enquanto ferramenta analítica que permite diferenciar certas características de tintas.

Os testes realizados compreenderam a aplicação de diversas tintas e primários e posterior análise dos dados recolhidos pelo equipamento, para avaliar a reprodutibilidade enquanto aplicador automático.

Da análise dos dados recolhidos concluiu-se que o novo equipamento é uma ferramenta reprodutível na aplicação de tintas, potenciando desenvolvimentos de novas formulações.

**Palavras Chave (Tema):** ROBpaint, Aplicação Automática de Tintas, Reprodutibilidade

---

## Abstract

Nowadays, as the need for paints is growing, not only to decorative use but also to material protection, the paint industry has expanded.

Paint quality control is done by testing all its components, characteristics and application modes in a laboratory, in order to determinate the drying time, surface's adhesion as well the resistance and pellicle durability.

In order to achieve better reproducibility and eliminate all the subjectivity inherent to human applications made in laboratory, new technology was developed - ROBpaint - laboratorial equipment, which will be object of study in the present work.

The main goal was to prove that the reproducibility of the automatic applications executed by ROBpaint allows this equipment to affirm itself as an assistant for the development in the paint's industry.

Through the selection of several paints and primaries that were tested with this new laboratorial equipment, it became clear that ROBpaint is a reliable tool for paints testing and that it can assist in the development of new formulations.

**Key words:** ROBpaint, Paints Automatic Applications, Reproducibility

---

# Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Tabelas .....	v
Notação e Glossário .....	vi
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	1
1.2 Contributos do Trabalho.....	1
1.3 Organização da Tese .....	2
<b>2 Estado da Arte .....</b>	<b>2</b>
2.1 Tintas.....	2
2.1.1 Em que Consiste uma Tinta .....	2
2.1.2 Reologia das Tintas .....	3
2.1.3 Análise e Aplicação de Tintas.....	5
2.2 Instrumento Laboratorial ROBpaint .....	7
<b>3 Descrição Técnica e Discussão .....</b>	<b>13</b>
3.1 Aprendizagem e desenvolvimento da técnica.....	13
3.1.1 Força de Arrasto - Cálculo e Tratamento de Dados.....	13
3.1.2 Propriedades do Rolo.....	15
3.1.3 Condições de Operação - Força Normal versus Velocidade.....	17
3.1.4 Comportamento da Força de Arrasto ao Longo da Aplicação .....	20
3.1.5 Condições de Operação - Rotinas de Pintura.....	21
3.2 Testes Comparativos de Tintas .....	28
3.2.1 Aplicabilidade da Tinta .....	28
3.2.2 Rendimento da Tinta .....	30
3.2.3 Acabamento da Tinta.....	32
3.2.4 Conclusões.....	38
<b>4 Avaliação do trabalho realizado.....</b>	<b>39</b>

4.1	Objectivos Realizados.....	39
4.2	Outros Trabalhos Realizados.....	39
4.3	Limitações e Trabalho Futuro .....	39
4.4	Apreciação final .....	40
	Referências .....	42
Anexo A	Imagens de características de tintas.....	A.1

# Índice de Figuras

<i>Figura 1: Viscosidades adequadas a diferentes aplicações</i> .....	5
<i>Figura 2: Relação de viscosímetro em função da taxa de corte onde é medida a viscosidade</i> .....	6
<i>Figura 3: ROBpaint</i> .....	8
<i>Figura 4: Ilustração do sistema de forças medidas pelo ROBpaint durante a aplicação.</i> .....	9
<i>Figura 5: Cabeça de pintura ROBpaint -esquerda) câmara fotográfica e laser; direita) o rolo e mesa de forças</i> .....	10
<i>Figura 6: Gaveta, reservatório e rolo rasurado</i> .....	11
<i>Figura 7: Fixação do Provete</i> .....	11
<i>Figura 8: Exemplos do Interface de Operação: a) 1 - Vista Geral; b) 2 - Módulo de Relatórios</i> .....	12
<i>Figura 9: Ilustração da medição da Força de Arrasto - Sistema equilibrado</i> .....	14
<i>Figura 10: Ilustração da medição da Força de Arrasto na direcção: a) 1 - Ida; b) 2 - Volta</i> .....	14
<i>Figura 11: Exemplo de valores adquiridos pelo sensor de força de arrasto</i> .....	15
<i>Figura 12: Rolo de Aplicação</i> .....	16
<i>Figura 13: Variação da força de arrasto com as diferentes velocidades associadas a diferentes forças normais.</i> .....	19
<i>Figura 14: Exemplo de valores adquiridos pelo sensor de arrasto com força normal de 200 g</i> .....	20
<i>Figura 15: Módulo para criação e edição de Rotinas de Pintura</i> .....	24
<i>Figura 16: Exemplos de aplicações executadas com o ROBpaint</i> .....	24
<i>Figura 17: Comportamento de uma gota de líquido sobre uma superfície com diferentes molhabilidades [8]</i> .....	26
<i>Figura 18: Aspecto da primeira aplicação feita com a Tinta D sobre uma placa com o</i> .....	27
<i>Figura 19: Aspecto da primeira aplicação feita com a Tinta D sobre uma placa com o</i> .....	28
<i>Figura 20: Comparação gráfica das forças de arrasto para diferentes tintas.</i> .....	29
<i>Figura 21: Resultado da aplicação da Tinta A sobre o Primário A</i> .....	32
<i>Figura 22: Resultado da Aplicação da tinta A sobre o Primário B</i> .....	33
<i>Figura 23: Resultado da aplicação da Tinta B sobre o Primário A</i> .....	34
<i>Figura 24: Resultado da aplicação da Tinta B sobre o Primário B</i> .....	35
<i>Figura 25: Resultado da aplicação da Tinta C sobre o Primário A</i> .....	36
<i>Figura 26: Resultado da aplicação da Tinta C sobre o Primário B</i> .....	37

*Figura 27: Resultados da aplicação sobre o primário A ..... A.1*

*Figura 28: Resultados da aplicação sobre o primário B. .... A.2*

*Figura 29: Resultados da aplicação sobre o primário A. .... A.3*

*Figura 30: Resultados da aplicação sobre o primário B. .... A.4*

*Figura 31: Resultados da aplicação sobre o primário A. .... A.5*

*Figura 32: Resultados da aplicação sobre o primário B. .... A.6*

# Índice de Tabelas

<i>Tabela 1: Condições ambientais e parâmetros controlados nas aplicações. ....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 2: Força de arrasto: valores médios e desvios padrão.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 3: Condições relativas ao meio físico e às características dos testes. ....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4: Média da força de arrasto (g) de 3 ensaios e respectivo desvio padrão. ....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 5: Valores médios da força de arrasto e respectivo desvio padrão, associado a diferentes segmentos das passagens dos testes. ....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 6: Iterações para atingir a Rotina de Pintura .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 7: Rendimento de aplicação sobre diferentes primários.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 8: Condições gerais de aplicação dos testes a tintas com viscosidades diferentes. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 9: Forças de arrasto em testes a tintas com viscosidades diferentes. ....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 10: Rendimento de aplicação entre tintas sobre diferentes primários .....</i>	<i>31</i>

## Notação e Glossário

$A$	Área	$m^2$
$F$	Intensidade da força exercida sobre a área	N
$F_n$	Força Normal	g
$F_{arrasto}$	Força de Arrasto	g
$S_{arrasto,dir1}$	Força medida pelo sensor de carga na direcção 1	g
$S_{arrasto,dir2}$	Força medida pelo sensor de carga na direcção 2	g
$P_{seca}$		g
$P_{1^a húmida}$		g
$V$	Velocidade	m/s
$M$	Massa	g

### Letras gregas

$\tau$	Tensão de corte	Pa
$\mu$	Viscosidade dinâmica	Pa.s
$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação	$s^{-1}$
$\sigma$	Desvio padrão	
$\phi$	Coefficiente de fluidez	
$\nu$	Viscosidade cinemática	$m^2/s$
$\rho$	Densidade do líquido	g/l
$\mu_{ap}$	Viscosidade aparente	Pa.s
$\tau_0$	Tensão de corte mínima	Pa
$\eta$	Rendimento	$m^2/l$

### Lista de Siglas

NP	Normas Portuguesas
PC	Personal Computer

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

Tinta define-se como uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada é convertível ao fim de um certo tempo numa película sólida, corada e opaca.

As proporções dos seus constituintes dependem da natureza, das qualidades pretendidas na película (protecção e/ou decoração), das finalidades (isolantes, antiderrapantes) a que se destina.

A pintura é a aplicação de uma tinta ou de um verniz numa determinada base de aplicação com o fim de a proteger, decorar ou de lhe proporcionar propriedades especiais.

Os testes de aplicação manual são actualmente feitos à trincha, a rolo, a pincel entre outros. Durante esse processo de pintura o operador avalia algumas características inerentes à aplicação como a formação de espuma e o espalhar da tinta. Posteriormente, depois de seca a aplicação, estudam-se outras propriedades tais como opacidade, cor, resistência e durabilidade da tinta. Esta aplicação manual está sujeita à imprecisão natural do operador humano que influencia os resultados obtidos e as conclusões, uma vez que a forma de aplicar não é invariável, depende da pessoa que executa a aplicação.

O ROBpaint é um instrumento laboratorial capaz de aplicar com alto grau de reprodutibilidade filmes líquidos. Foi inicialmente desenvolvido numa colaboração entre o LSRE, Laboratório de Processos de Separação e Reacção e o ISR, Instituto de Sistemas e Robótica - Porto e patenteado pela FEUP. A Fluidinova, Engenharia de Fluidos, S.A. desenvolveu um primeiro protótipo industrial que foi adquirido pela Barbot, Indústria de Tintas S.A, e encontra-se em fase de testes nos seus laboratórios de I&D.

Além de aplicar um filme de tinta de forma controlada e reprodutível, como se pretende testar neste trabalho, o ROBpaint apresenta ainda a capacidade de medição da força de arrasto, com a força normal e velocidade de aplicação impostas pelo operador. Para avaliação do aspecto final da cobertura o ROBpaint captura imagens da película líquida, imediatamente após pintura assim como da película seca.

## 1.2 Contributos do Trabalho

Este trabalho compreende a validação do equipamento relativamente às características de reprodutibilidade da aplicação - através do estudo da força de arrasto versus velocidade de aplicação e o estudo de tintas com características reológicas diferentes e a respectiva

relação com os diversos sensores de medida que equipam o ROBpaint - estudando a relação entre a força de arrasto com a viscosidade das tintas estudadas.

Foram realizadas aplicações com o intuito de provar a reprodutibilidade e analisar a aplicabilidade de algumas tintas comparando os resultados obtidos a partir do sensor carga. Foram testadas três tintas de diferente composição e as mesmas três tintas diluídas convenientemente de acordo com a respectiva ficha técnica. O sensor de carga foi testado a diferentes forças normais e foi obtida uma resposta. Esta resposta expressa como a força de arrasto, identifica as diferenças de aplicabilidade das seis tintas.

Foi também explorada a visão digital do ROBpaint, onde se pretendeu estudar o aspecto final da aplicação e simultaneamente determinar o seu rendimento e reprodutibilidade.

No decorrer do trabalho, e sempre que oportuno, foram realizadas por parte da Fluidinova melhorias no modo de funcionamento do ROBpaint, para corresponder de uma forma mas eficiente às expectativas da Barbot.

Paralelamente foi necessária a introdução do novo instrumento aos colaboradores da Barbot, assim como a formação dos mesmos.

### **1.3 Organização da Tese**

No capítulo 1 estão descritos alguns conceitos básicos que ajudam a compreender a essência das tintas e a respectiva ligação com o novo instrumento laboratorial ROBpaint.

No capítulo 2 faz-se a exposição da situação actual ao nível do tratamento laboratorial das tintas.

No capítulo 3 é delineado todo o processo experimental de aprendizagem e consolidação do uso do ROBpaint, assim como a discussão de resultados.

No capítulo 4 é feita a conclusão final relativa aos objectivos atingidos.

Finalmente no capítulo 5 é apresentada a avaliação final do trabalho realizado.

## 2 Estado da Arte

### 2.1 Tintas

#### 2.1.1 Em que Consiste uma Tinta

Uma tinta é definida como sendo uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada delgada sobre os mais diversos substratos, desde que apropriados no estado em que é fornecida ou após uma série de transformações físicas ou químicas, como a fusão, diluição ou dispersão em produtos voláteis, forma um revestimento sólido aderente e durável, conferindo aos materiais, qualidades de protecção, higiene e apresentação. É composta por uma mistura de componentes que se dividem numa parte sólida, que dá origem à película aderente à superfície a ser pintada, e numa parte volátil constituída por solventes orgânicos e/ou água.

Os solventes são líquidos capazes de dissolver o veículo fixo de tintas e vernizes. Permitem à tinta, ter uma viscosidade apropriada para a sua fabricação e posterior aplicação. Dissolvem e emulsionam a resina, sendo esta que definirá o tipo de solvente a ser utilizado. Numa tinta é necessário que o balanceamento dos solventes seja tal, que permita que a mistura de solventes evapore a uma velocidade constante.

Quando o solvente é maioritariamente orgânico, as tintas passam a chamar-se tintas à base de solventes, e se o solvente é principalmente a água, chamam-se Látex ou Emulsões e Soluções.

A água é utilizada, principalmente, nas emulsões vinílicas, apesar de actualmente existirem diversos estudos dirigidos para o desenvolvimento de esmaltes à base de água.

A parte sólida é constituída por:

- Pigmentos - conferem à tinta entre outras características especiais, cor e opacidade;
- Cargas - dão “corpo” à tinta e tem o fim de lhes conferir determinadas propriedades, melhoram a sua qualidade e durabilidade além de proporcionarem outras características como resistência ao fogo e antiderrapantes;
- Aditivos - adicionados em baixas concentrações com o intuito de melhorar características específicas. Conferem melhores propriedades de aplicação, secagem, estabilidade no armazenamento, actuando também como biocidas;

- Veículo - é composto simplesmente pelo veículo fixo ou, caso exista, também pelo veículo volátil.

Veículo fixo - componente responsável pela formação da película sólida, pode ser constituído por óleos e resinas.

Veículo volátil - componente que se evapora durante o processo de secagem, constituído por solventes e/ou diluentes.

### 2.1.2 Reologia das Tintas

O entendimento e o controlo das propriedades reológicas é fundamental em processos, na fabricação e manuseamento de uma grande variedade de materiais, desde borrachas, plásticos, alimentos, cosméticos e tintas. [1]

A reologia é a ciência que estuda o escoamento da matéria e as suas deformações, ocupando um vasto domínio entre a teoria da elasticidade clássica e a hidrodinâmica.

As propriedades e os comportamentos mecânicos estudados por esta ciência são gerados sob determinadas condições termodinâmicas, pela acção de uma tensão de corte que se define como

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

e representa o quociente entre a intensidade da força  $F$  e a área de secção recta  $A$  que é submetida à força  $F$ . [2]

O comportamento reológico dos corpos é muito variado e complexo. Um dado material pode ter comportamentos diferentes conforme as condições a que objectivamente se encontra submetido, tanto ao nível das tensões e da velocidade de deformação como em função do tempo de solicitação e da temperatura.

A viscosidade é uma das propriedades compreendida através da reologia e trata-se de uma medida de resistência interna ou fricção interna de uma substância ao fluxo quando submetida a uma tensão. A viscosidade está relacionada com as forças de coesão entre as moléculas, quanto mais viscoso for o fluido mais difícil é de escoar e maior a sua viscosidade.

O conceito de viscosidade foi introduzido por Newton. [3]

$$\tau = \mu \frac{dv_x}{dy} = \mu \dot{\gamma} \quad (2)$$

em que  $\mu$  é a viscosidade dinâmica ou simplesmente viscosidade do fluido e  $\dot{\gamma}$ , é a taxa de deformação. Para fluidos Newtonianos,  $\mu$  é uma constante característica do fluido. Em fluidos não-Newtonianos, como é caso das tintas, a viscosidade é uma função da taxa de deformação,  $\mu \dot{\gamma}$ .

O inverso da viscosidade representa o coeficiente de fluidez:

$$\phi = \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

Outro termo importante por vezes utilizado é a viscosidade cinemática, a razão entre a viscosidade dinâmica e a densidade do líquido

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

Os fluidos não-Newtonianos apresentam dois tipos de fenómenos que os distinguem dos sistemas Newtonianos:

1. Fenómenos de estado estacionário, podem levar a três tipos de sistemas distintos:

1.a Fluidos pseudoplásticos - apresentam uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da tensão de corte.

1.b Fluidos plásticos - revelam a existência de uma tensão de corte mínima,  $\tau_0$ , para iniciar o escoamento e para valores de tensões de corte superiores à tensão de corte mínima de escoamento, estes fluidos assumem um comportamento semelhante aos dos líquidos pseudoplásticos. No caso do valor de  $\tau_0$  ser muito pequeno torna-se difícil determinar entre plástico ou pseudoplástico, qual o tipo de sistema em questão.

1.c Fluidos dilatantes - manifestam um aumento da viscosidade aparente com o aumento da tensão de corte. Estes fluidos comportam-se como um líquido, isto é, escoam facilmente, a baixas tensões de corte, aumentando a dificuldade de escoamento, até atingir o caso extremo de não escoar, quando são sujeitos a elevadas tensões de corte, pois tornam-se tão rígidos como um sólido.

2. Fenómenos dependentes do tempo, podem conduzir a dois casos:

2.a Tixotropia - fenómeno de diminuição da viscosidade aparente com o tempo de corte a uma taxa de corte constante. Um exemplo de tixotropia pode ser observado quando se mexe com uma espátula uma tinta látex, inicialmente a tinta parece muito viscosa, mas com o tempo vai-se tornando mais fluida (por exemplo:

soluções de polímeros de massa molar elevada e suspensões coloidais de óxido de ferro III, de alumina e de argilas que formam sistemas gelificados).

**2.b Reopexia** - fenómeno inverso da tixotropia, expressa o aumento da viscosidade aparente com o tempo de corte a uma taxa de corte constante. [1]

### 2.1.3 Análise e Aplicação de Tintas

Para que se possa obter um bom sistema de pintura é necessário todo um trabalho de controlo e inspecção quer em laboratório, quer em estaleiro e serem respeitadas as técnicas de aplicação.

Ao nível do controlo de qualidade em laboratório, existem várias técnicas actualmente aplicadas.

#### - Viscosidade

Esta propriedade pode ser regulada através de solventes e influencia a facilidade de aplicação, a opacidade da película e a estabilidade da tinta assim como o tipo de aplicação. A Figura 1 mostra um diagrama que ilustra os diferentes tipos de aplicação de tintas mais indicados para várias gamas de viscosidade.

#### Aplicações vs Perfil Reológico

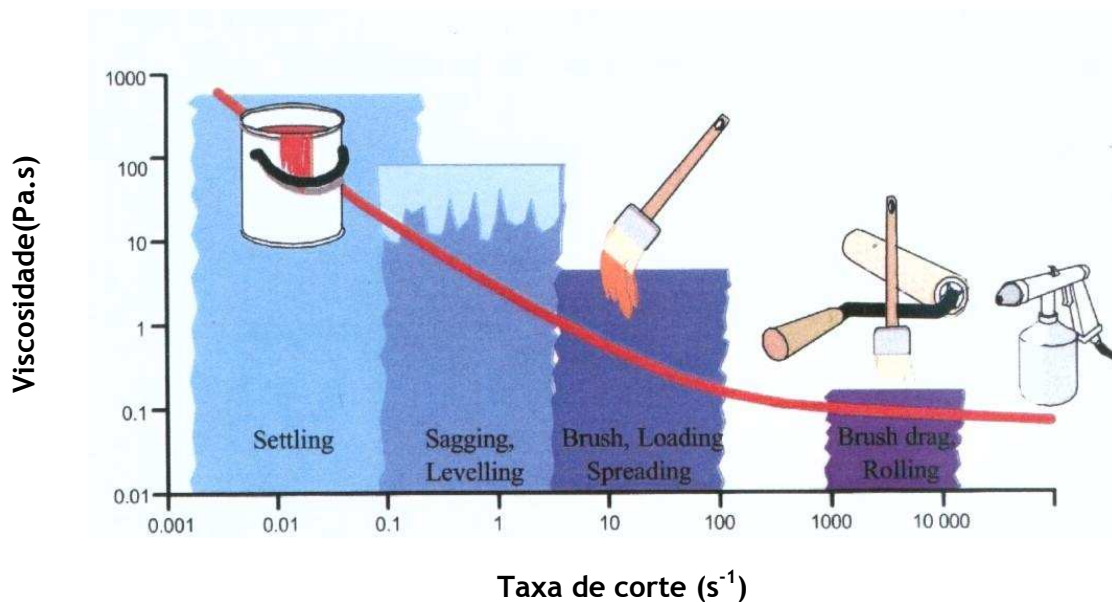


Figura 1: Viscosidades adequadas a diferentes aplicações

A escolha do tipo de viscosímetro a ser utilizado depende do propósito da medida e do tipo de líquido a ser analisado. [1] Existem vários tipos de equipamentos por exemplo, o viscosímetro CF4, o viscosímetro Krebs-Stormer, o viscosímetro Brookfield, o HAAKE e o ICI que medem viscosidades e se devem escolher consoante o tipo de tinta que se pretende analisar, como se mostra na Figura 2.

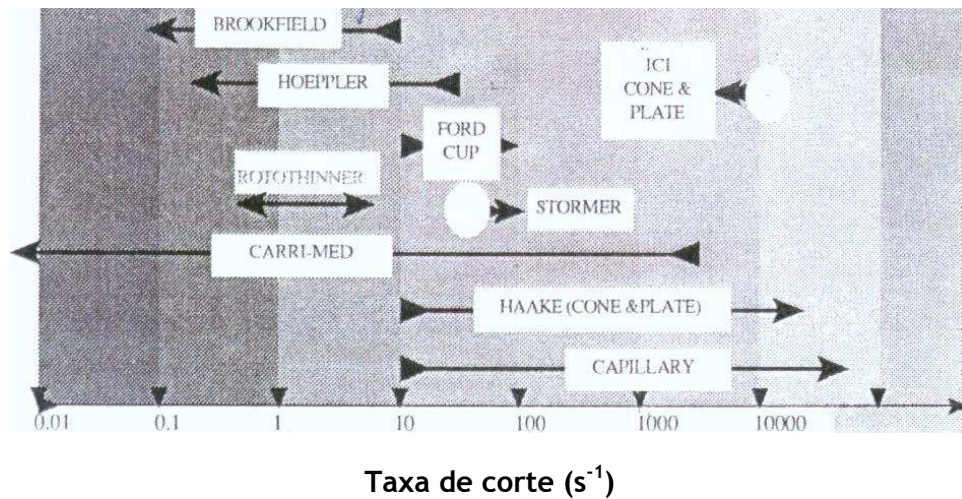


Figura 2: Relação de viscosímetro em função da taxa de corte onde é medida a viscosidade

#### - Densidade

Relação entre massas volúmicas que pode ser medida quer com densímetro quer com picnómetro.

#### - pH

Propriedade medida a uma temperatura de tinta constante de 25°C usando um eléctrodo e o respectivo potenciómetro.

#### - Força corante e opacidade

Estas características são adquiridas por análise de cartas de contraste onde se aplica simultaneamente duas películas de tinta com a mesma espessura. No espectrofotómetro lêem-se as diferenças de cor entre a base padrão e a base a controlar (de fabrico), ambas com as respectivas unidades de corante adicionadas, e relativamente ao padrão informático.

A forma como as duas películas de tinta, depois de secas, “cobrem” o tracejado, alternadamente preto e branco, da carta permite-nos comparar a opacidade das duas amostras de tinta ou pela análise no espectrofotómetro ou simplesmente faz-se uma crítica visual através da observação humana.

#### - Grau de dispersão

O grau de dispersão refere-se ao tamanho de uma partícula a que é reduzido um aglomerado de pigmento ou carga no seio de um veículo de forma a não permitir a sua floculação.

Este parâmetro influencia o brilho, o poder de cobertura e a estabilidade de uma tinta que se reflecte na formação ou não de depósito ao longo do tempo.

Este controlo é de extrema importância e é efectuado por uma técnica simples de executar recorrendo apenas a uma régua adequada na qual se espalha uma pequena quantidade de tinta e se verifica se o valor está dentro das especificações devidas.

#### **- Índice de Refracção**

É medido pelo refractómetro, que consiste num aparelho que mede a mudança de direcção dos raios luminosos, quando mudam de meio óptico.

#### **- Controlo Bacteriológico**

Efectuado através de um dispositivo chamado Dipslide, que é introduzido dentro da tinta que se pretende analisar, fechado e deixado repousar durante dois dias. No caso da tinta estar contaminada devem ocorrer reacções que indicam visualmente a presença de microrganismos.

#### **- Espessura**

O controlo das espessuras pode ser feito recorrendo a medidores adequados. Existem dois tipos, um que é usado para medir a espessura de películas húmidas e outro que é usado para medir a espessura de películas secas.

#### **- Aplicação**

Normalmente a aplicação é feita manualmente em laboratório, com o rolo mais adequado à tinta que se pretende testar sobre o substrato onde se deseja aplicar. Deve ser efectuada por um operador qualificado, já que a avaliação de algumas características, como a aplicabilidade da camada líquida com respeito à sua facilidade de aplicação e a sua aparência final depois de aplicada, são da sua responsabilidade.

## **2.2 Instrumento Laboratorial ROBpaint**

O desenvolvimento de métodos de aplicação reprodutíveis para testes de tintas proporciona paralelamente a evolução destas.

A Fluidinova em parceria com a FEUP desenvolveu um equipamento com o intuito de robotizar as técnicas usadas neste tipo de aplicações. O instrumento laboratorial ROBpaint é construído com elementos de alto rigor mecânico e algoritmos de controlo em tempo-real, que conjugados com o ambiente controlado, garantem a reprodutibilidade e rigor na aplicação de tinta a rolo. A automatização dos testes melhora a qualidade dos resultados, pois elimina a imprecisão humana.[5]



Figura 3: ROBpaint

Os sistemas de análise do ROBpaint foram sujeitos a um pedido de patente [6], e ROBpaint é marca registada da Fluidinova desde Julho de 2006.

A BARBOT, Industria de Tintas, S.A. adquiriu um equipamento para o seu laboratório de I&D o qual tem sido utilizado para o conhecimento mais aprofundado de algumas tintas assim como para o desenvolvimento de novas formulações.

O ROBpaint possui um mecanismo robotizado para aplicação de filme com total controlo de índices de força normal e velocidade de aplicação. Possui também um sistema de visão digital que permite aferir propriedades relacionadas por exemplo com a textura, opacidade e brilho da aplicação.[6]

A força imposta pelo pulso humano, necessária para uma aplicação correcta do filme, é aproximada por um sistema mecânico e de sensores que se encontram acoplados à parte posterior do suporte do rolo. Esta força é decomposta em duas componentes, força normal,  $F_n$  e força de arrasto ( $F_{arrasto}$ ), como se exemplifica na Figura 4.

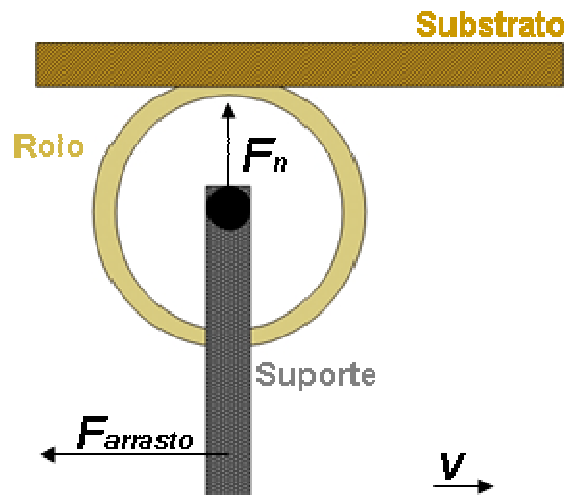


Figura 4: Ilustração do sistema de forças medidas pelo ROBpaint durante a aplicação.

O novo instrumento laboratorial proposto como a base para a realização desta tese apresenta-se como um bom substituto ao aplicador humano actual na medida em que torna as aplicações reproduzíveis de modo invariável alcançando assim o objectivo para o qual foi proposto.

Actualmente a observação do operador e as percepções durante a aplicação líquida do filme, servem de base para a sua avaliação qualitativa. No entanto, a existência deste factor humano que influencia a avaliação dos resultados, é um facto explicitamente reconhecido pela Norma Portuguesa, NP-3025 de 1986, extinguindo a possibilidade da determinação de propriedades da tinta em sentido absoluto ou preciso. Não obstante, em caso de testes comparativos de características do produto testado com as características de um material de referência, é possível obter informações úteis que não se obteriam de outro modo.

Com o ROBpaint torna-se possível abrir novos caminhos de investigação, estabelecendo a correlação de características físicas do material de camada, por exemplo propriedades reológicas, com suas características de aplicabilidade. Consoante a análise pretendida seja em relação às características intrínsecas das tintas ou ao simples aspecto visual, podem-se configurar rotinas de pintura neste equipamento devidamente ajustados a esse fim.

Este evento será relevante no desenvolvimento de produtos e processos na área de aplicabilidade de tintas e progride no sentido da criação de padrões para provas de aplicabilidade de camada.

O equipamento proposto no presente trabalho tem o objectivo de corrigir as características inerentes ao Homem que se reflectiam nas suas aplicações, eliminando o factor humano e conseqüentemente a imprecisão dos resultados dos testes de aplicabilidade

e, inclusivamente, poder ser usado como uma base para a preparação de um padrão internacional para o estudo da aplicabilidade de tintas.

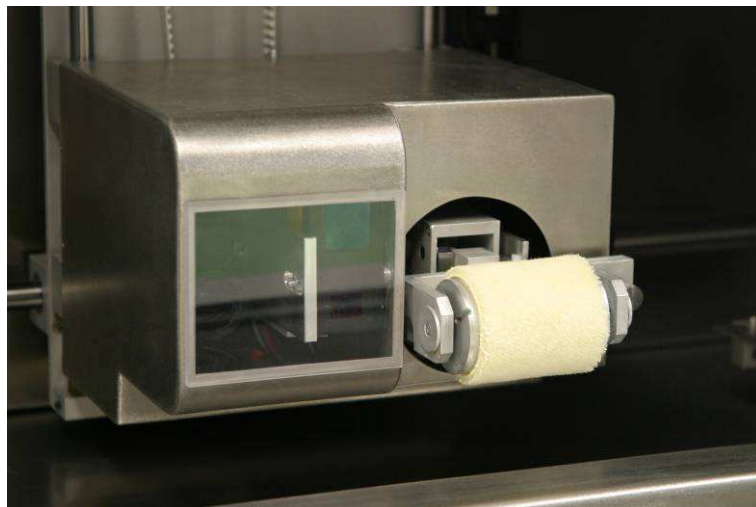
O ROBpaint é composto por 4 blocos distintos - Cabeça de Pintura, Gaveta com reservatório de tinta, Porta e fixação do provete e Computador - que se descrevem de seguida.

### **Cabeça de Pintura**

A cabeça de pintura é a parte móvel do ROBpaint com 3 eixos de deslocamento, permitindo deslocamentos em x de 40 cm, em y de 25 cm e em z de 35 mm.

Na parte posterior do rolo estão montados sensores de carga que permitem a medição da força normal e da força de arrasto, no decorrer da pintura. O rolo de pintura é fixo a um suporte com rolamentos nas pontas para garantir o mínimo de atrito na rotação do rolo. A sua colocação é simples para facilitar a troca rápida e com o mínimo de sujidade.

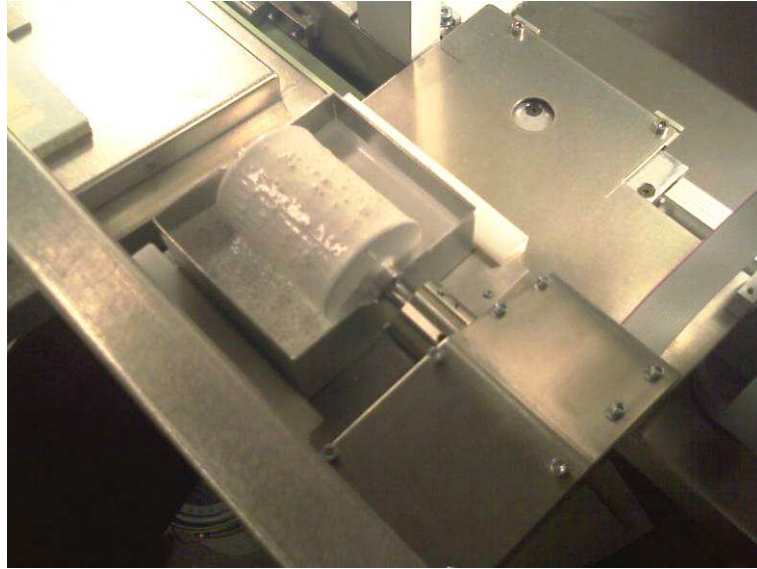
Na cabeça está também localizada a câmara fotográfica para a recolha e arquivo do aspecto das aplicações e um laser de alta precisão para a medição de espessura de filme aplicado.



*Figura 5: Cabeça de pintura ROBpaint -esquerda) câmara fotográfica e laser; direita) o rolo e mesa de forças*

### **Gaveta com reservatório de tinta**

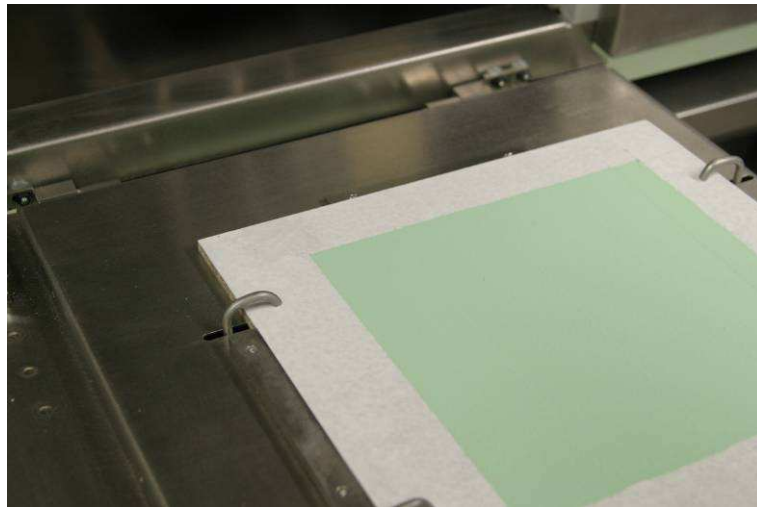
O reservatório de tinta contém guias laterais para facilitar a colocação e remoção do interior da gaveta. A transferência de tinta é realizada por um rolo metálico rasurado, acoplado a um motor através de um encaixe cónico afim de, mais uma vez, promover a facilidade de manuseamento. Todos os materiais em contacto com a tinta são metálicos.



*Figura 6: Gaveta, reservatório e rolo rasurado*

### **Porta e fixação do provete**

O sistema de fixação do provete permite uma regulação para provetes de vários materiais e espessuras. A porta possui duas guias, lateral e ao fundo, para garantir o correcto posicionamento do provete.



*Figura 7: Fixação do Provete*

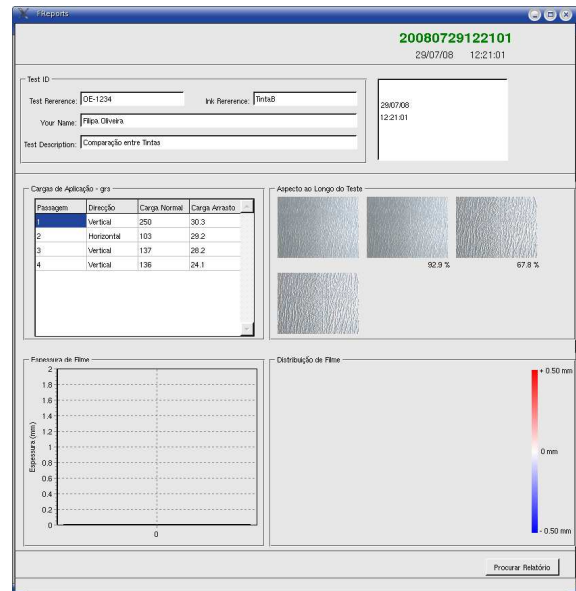
### **Computador**

O ROBpaint é controlado por um computador que em tempo real envia ordens à electrónica que actua nos motores, sensores e outros dispositivos eléctricos. O facto da interface com o operador ser baseado em PC, permite uma adaptação rápida, diminuindo tempos de aprendizagem. Todos os testes ficam arquivados no computador e podem ser consultados posteriormente através do módulo de relatórios. Outro módulo disponível no software que acompanha o ROBpaint é o módulo de rotinas que permite a criação e edição

das rotinas de aplicação, para que o operador customize a sua aplicação e/ou análise ao tipo de tinta e provete que está a utilizar.



(a)



(b)

Figura 8: Exemplos do Interface de Operação: a) 1 - Vista Geral; b) 2 - Módulo de Relatórios

## 3 Descrição Técnica e Discussão

### 3.1 Aprendizagem e desenvolvimento da técnica

O ROBpaint está equipado com sensores cinéticos, dinamométricos e visão digital e pode ser configurado com diversas rotinas para diferentes tipos e condições de aplicação.

As aplicações foram executadas em provetes com dimensões 30x30 cm e de diferentes materiais: Viroc, MDF, Pladur, Alumínio e Fibrocimento.

Antes de avançar com o estudo das características reológicas das tintas e respectiva resposta do ROBpaint, foi necessário aprender como este é constituído e conhecer os limites de funcionamento. Na aplicação de tinta a rolo existem as seguintes condições limite de funcionamento: velocidade entre um mínimo de 0.05 m/s e um máximo de 0.4 m/s e a imposição da força normal entre 100 g e 400 g. Todas estas configurações são realizadas num módulo de criação de Rotinas de Pintura, incluído no software que acompanha o ROBpaint.

A diferente configuração de rotinas é realizada através da criação de uma máquina de estados. Neste conjunto de estados são configuradas as condições que permitem desenvolver rotinas de ensaio mediante a finalidade da aplicação quer seja relacionada com as características intrínsecas das tintas ou ao simples aspecto visual.

A tinta é transferida para o rolo de forma controlada por meio de outro rolo motorizado que é imergido num reservatório com a tinta.

Por razões de confidencialidade não serão referidos a identificação comercial das substâncias utilizadas quer de tintas de acabamento, primários ou aditivos.

Foi desenvolvida uma sucessão de testes com diferentes objectivos para se aproveitar da melhor forma o novo instrumento laboratorial ROBpaint e nesse sentido aperfeiçoar as suas potencialidades.

#### 3.1.1 Força de Arrasto – Cálculo e Tratamento de Dados

A medição da força de arrasto é realizada por um sensor de carga, representado por **Sensor** na Figura 9, montado numa balança de molas que restringem a liberdade de movimento da direcção contrária à aplicação durante a pintura.

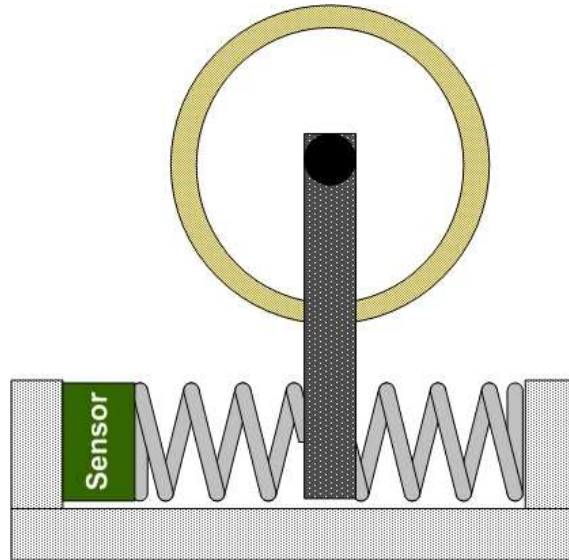


Figura 9: Ilustração da medição da Força de Arrasto - Sistema equilibrado

Dependendo da direcção da pintura o sensor de carga mede variações em torno do valor da carga quando o sistema está em equilíbrio.

O valor da força de arrasto é dada por

$$F_{arrasto} = \frac{S_{arrasto,dir2} - S_{arrasto,dir1}}{2} \quad (5)$$

em que  $S_{arrasto,dir1}$  e  $S_{arrasto,dir2}$  representam a força medida pelo sensor nas duas direcções: 1 - Ida e 2 - Volta.

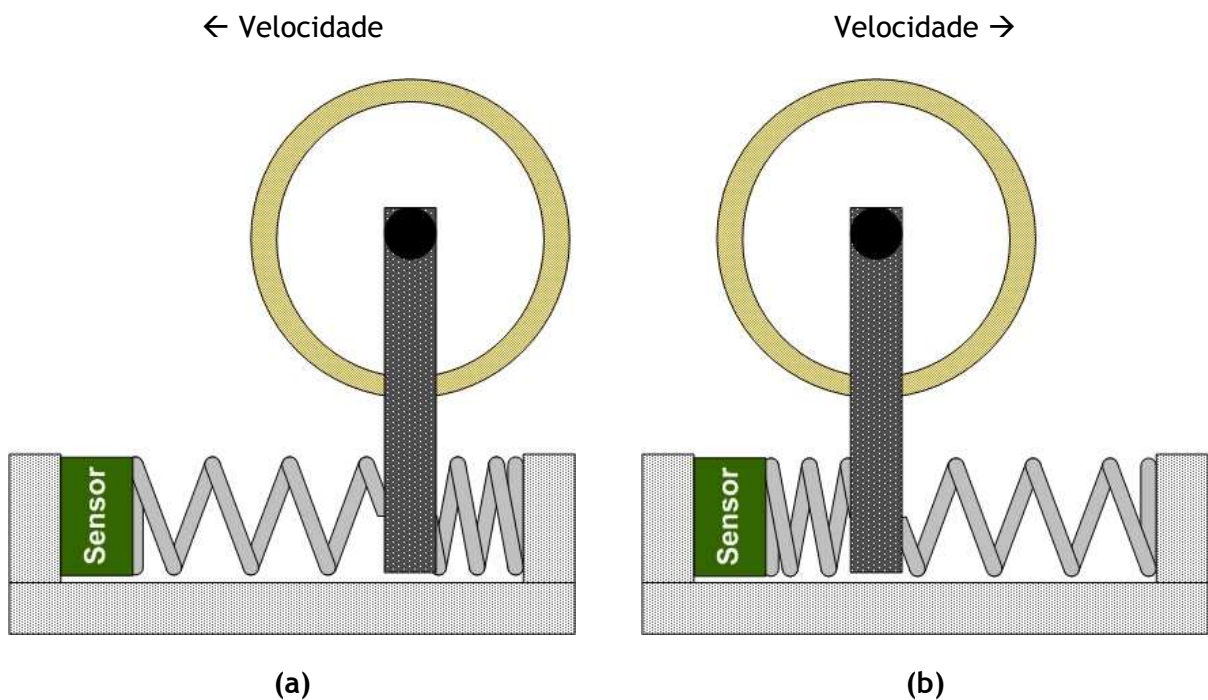


Figura 10: Ilustração da medição da Força de Arrasto na direcção: a) 1 - Ida; b) 2 - Volta

O ROBpaint só considera os valores da carga num intervalo limitado da pintura, para que os dados considerados sejam recolhidos quando a aplicação é realizada a velocidade constante, ou seja, pretende-se evitar as inversões de sentido.

Na Figura 11 é apresentado um exemplo de como são tratados estes dados, obtidos a uma velocidade de 0.1 m/s. Neste caso a força de arrasto é calculada usando um intervalo de 5 cm situado no centro da distância global de aplicação de 20 cm. Após separação das cargas por direcção é aplicada a equação 5 para calcular a força de arrasto da aplicação, sendo este valor o *output* do ROBpaint.

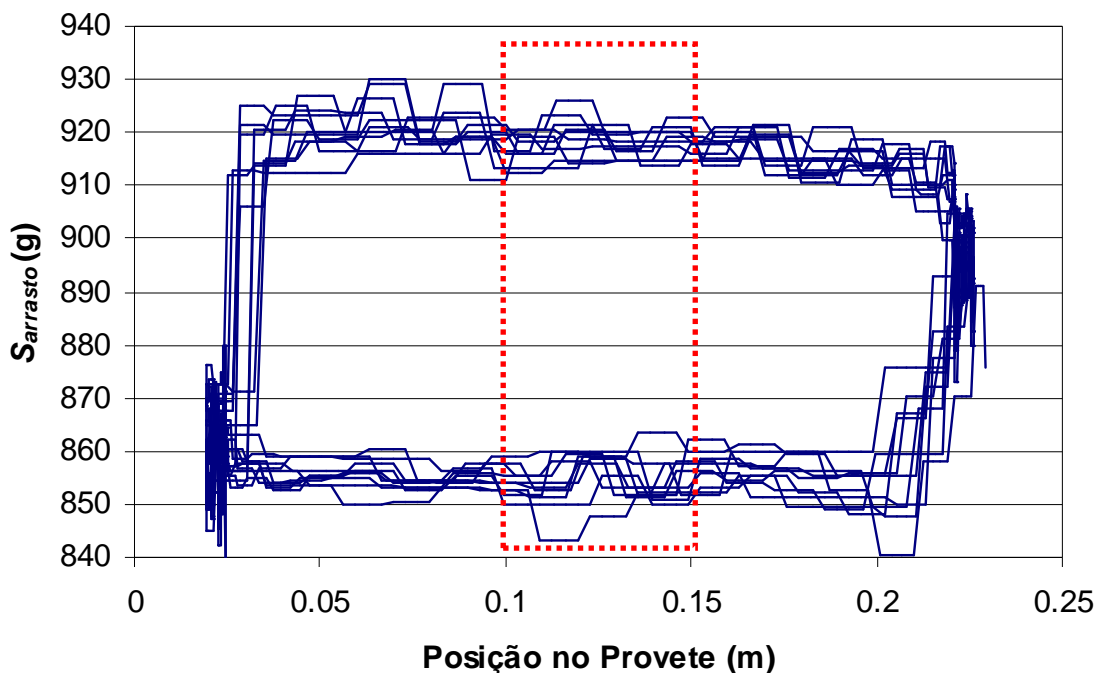


Figura 11: Exemplo de valores adquiridos pelo sensor de força de arrasto

### 3.1.2 Propriedades do Rolo

O rolo utilizado nos ensaios realizados foi um rolo standard de mercado, com pêlo Angorá, 45 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, como se mostra na Figura 12.

Foram realizados testes de reutilização do rolo. Pretende-se com este estudo avaliar o tempo de vida útil do rolo, isto é, começando com o rolo novo estimar após quantas aplicações seguidas de lavagem, o rolo se mantém apto a ser utilizado para estudos de forças de arrasto no ROBpaint. Repetiu-se três vezes cada teste em cada uma das utilizações, com as condições descritas na Tabela 1. O teste consistiu em fazer aplicações sempre com a mesma tinta, Tinta A, a uma pressão de pintura e velocidade de 200 g e 0.1 m/s respectivamente, numa placa de Viroc, de dimensões 30x30 cm. As aplicações resumiram-se a

10 passagens horizontais, que se podem decompor em 5 passagens para a esquerda (d direcção 1) e 5 para a direita (d direcção 2), na mesma posição de y.



Figura 12: Rolo de Aplicação

Tabela 1: Condições ambientais e parâmetros controlados nas aplicações.

Acabamento	Tinta A	Tinta A	Tinta A	Tinta A	Tinta A	Tinta A
Rolo	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia
Viscosidade (P)	1.50	1.59	1.35	1.35	1.38	1.41
Temperatura (°C)	23.5	23.4	23.5	23.5	23.5	23.4
Humidade (%)	50.1	51.8	42.8	47.6	46.1	48.9
nº passagens	10	10	10	10	10	10
Força Normal (g)	200	200	200	200	200	200
Velocidade (m/s)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Substrato	Viroc	Viroc	Viroc	Viroc	Viroc	Viroc

O rolo utilizado sofreu sempre o mesmo procedimento de limpeza. Foi lavado em água, enxugado com papel absorvente e deixado ao ar de um dia para o outro.

Após medições, efectuou-se uma análise estatística aos pontos recolhidos na direcção 1 e na direcção 2, donde se obtiveram os valores médios e os respectivos desvios padrão expressos na Tabela 2.

Os testes de análise de forças mostram que a reutilização do rolo não influencia de forma significativa a medição da força de arrasto, já que o desvio padrão dos valores  $S_{arrasto,dir1}$  e  $S_{arrasto,dir2}$  não aumentam com o aumento de utilizações. Também se pode verificar que não existiram alterações no aspecto visual da aplicação.

A variação dos valores obtidos da força de arrasto ao longo dos diferentes dias deve-se a alteração da viscosidade da tinta utilizada.

Concluiu-se assim, que o rolo pode ser usado em diversas aplicações, mantendo a qualidade das aplicações. Note-se no entanto que é necessária uma cuidada lavagem, imediatamente após a aplicação da tinta, assim com uma pré-secagem com papel absorvente após lavagem.

Tabela 2: Força de arrasto: valores médios e desvios padrão

Ensaio	(g)	1ª dia	2ª dia	3ª dia	4ª dia	5ª dia	6ª dia
	$F_{arrasto}$	21.7	18.9	26.0	26.1	25.5	24.4
1	$S_{arrasto,Dir1}$	855 ± 3.4	860 ± 3.1	857 ± 7.5	859 ± 5.5	853 ± 3.9	857 ± 3.3
	$S_{arrasto,Dir2}$	898 ± 2.6	897 ± 3.3	909 ± 1.3	911 ± 3.4	904 ± 2.9	906 ± 2.9
	$F_{arrasto}$	21.6	19.7	25.8	25.9	24.5	23.9
2	$S_{arrasto,Dir1}$	851 ± 3.2	861 ± 2.3	857 ± 4.8	859 ± 3.6	855 ± 4.2	858 ± 3.1
	$S_{arrasto,Dir2}$	894 ± 4.3	900 ± 2.8	908 ± 2.8	910 ± 2.6	904 ± 2.3	906 ± 2.8
	$F_{arrasto}$	22.4	19.2	26.0	26.0	24.4	23.3
3	$S_{arrasto,Dir1}$	855 ± 4.2	859 ± 2.8	854 ± 5.6	855 ± 2.8	856 ± 4.3	859 ± 2.6
	$S_{arrasto,Dir2}$	900 ± 2.5	898 ± 2.5	906 ± 2.2	907 ± 3.6	904 ± 2.1	905 ± 2.1

### 3.1.3 Condições de Operação – Força Normal versus Velocidade

Com a finalidade de compreender os limites de funcionamento do sensor de força de arrasto de forma a padronizar o seu estudo nas aplicações, efectuaram-se testes de pintura horizontais, de 10 passagens, numa placa de Viroc de dimensões 30x30 cm. Estes testes foram realizados em 5 gamas de velocidade, compreendidas entre 0.05 m/s e 0.4 m/s. Para cada uma das velocidades impostas foram também configurados 4 valores de força normal de 100 até 400 g. Na Tabela 3 listam-se as respectivas condições de operação.

Tabela 3: Condições relativas ao meio físico e às características dos testes.

Acabamento	Tinta A
Viscosidade (P)	1.59
Temperatura (°C)	23.5
Humidade (%)	51.1
nº passagens	10
Força Normal (g)	100 - 400
Velocidade (m/s)	0.05 - 0.4
Substrato	Viroc

Para cada combinação velocidade/força normal foram realizados 3 ensaios, a fim de aferir a repetibilidade entre eles. Os resultados são apresentados na Tabela 4, assim como o número de pontos considerado para cada cálculo. O número de pontos considerado pelo

ROBpaint para cálculo da força de arrasto vai diminuindo proporcionalmente com o aumento de velocidade, já que a aquisição é realizada com um tempo de amostragem característico, independente das velocidades de operação.

*Tabela 4: Média da força de arrasto (g) de 3 ensaios e respectivo desvio padrão.*

		Velocidade (m/s)			
		0.05 m/s	0.1 m/s	0.2 m/s	0.3 m/s
<b>Força Normal (g)</b>	100	12.3 ± 0.11	13.0 ± 0.12	22.0 ± 0.66	25.7 ± 3.22
	200	19.6 ± 0.19	19.3 ± 0.40	30.9 ± 0.30	32.3 ± 0.47
	300	24.0 ± 0.23	26.0 ± 0.39	38.2 ± 0.12	40.6 ± 2.36
	400	35.5 ± 0.39	37.4 ± 0.32	37.3 ± 0.43	43.5 ± 2.23
<b>Número de pontos</b>		150	75	35	25

Comparando os valores de desvio padrão, verifica-se que a melhor gama de velocidades para análise desta característica é de 0.05 m/s a 0.2 m/s.

Em geral verificou-se o aumento da média dos valores de força de arrasto com o aumento da força normal aplicada tal como se pode observar na Figura 13, com excepção à velocidade de 0.2 m/s para a força normal imposta de 400 g que apresentou uma descida do valor de força de arrasto.

## Força Normal vs Velocidade

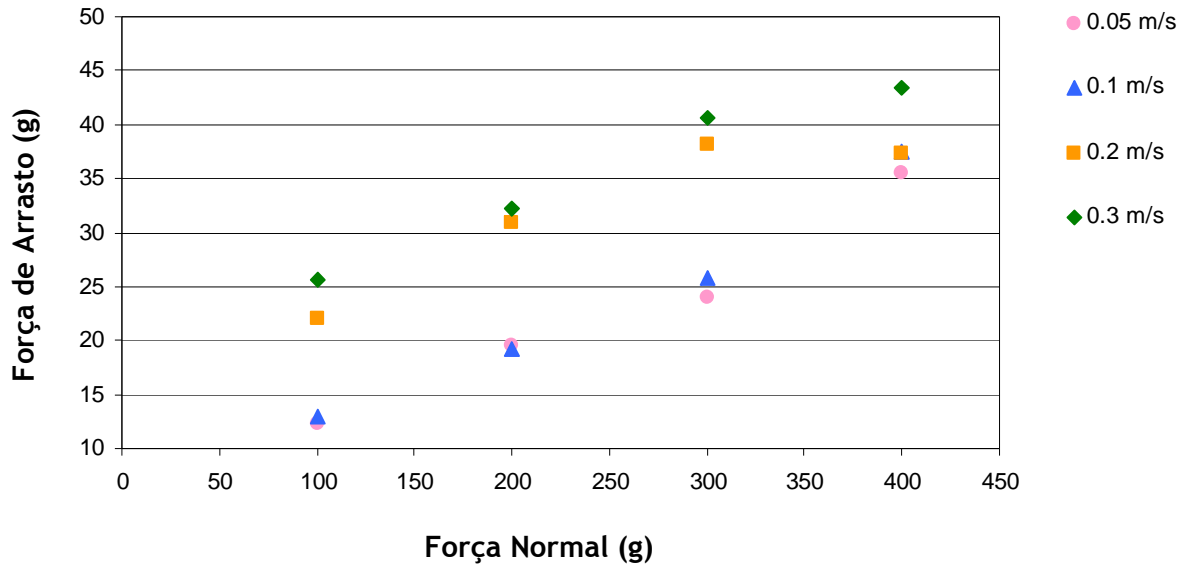


Figura 13: Variação da força de arrasto com as diferentes velocidades associadas a diferentes forças normais.

Contudo, analisando os dados considerados pelo ROBpaint para o cálculo da força de arrasto é possível verificar uma forte influência da aceleração para velocidades a partir de 0.2 m/s. Em alguns casos a balança de molas fica em oscilação. Na Figura 14 são apresentados os valores adquiridos pelo sensor de arrasto quando é imposta uma força normal de 200 g, em que a vermelho se evidencia a gama de valores utilizados para o cálculo da força de arrasto e a azul a componente de aceleração, visíveis em c) e d) e a oscilação da balança de molas em d).

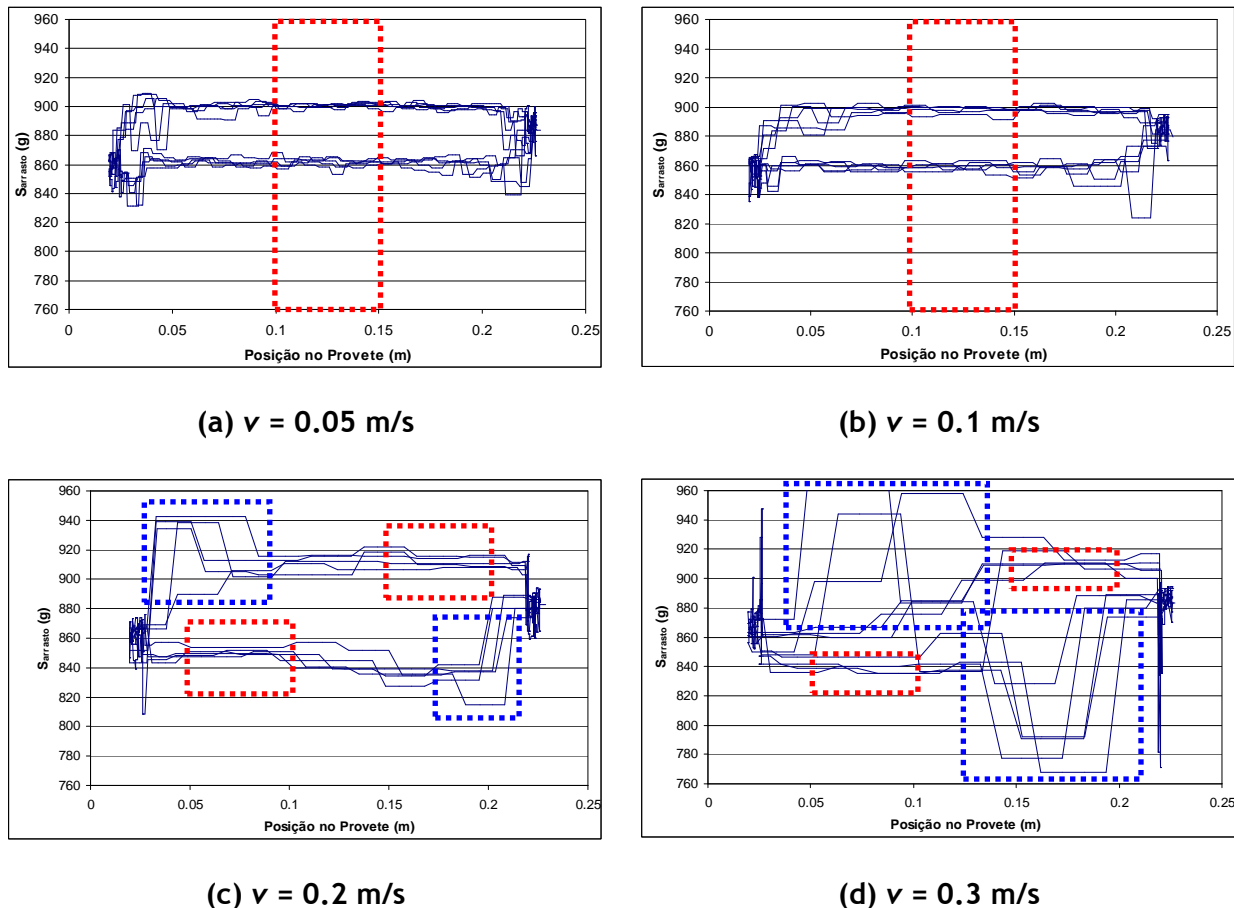


Figura 14: Exemplo de valores adquiridos pelo sensor de arrasto com força normal de 200 g

Conclui-se portanto que existe grande reprodutibilidade na medição da força de arrasto entre ensaios diferentes, se realizadas nas mesmas condições. Para garantir o cálculo mais preciso da força de arrasto, a velocidade de aplicação não deverá exceder os 0.1 m/s.

### 3.1.4 Comportamento da Força de Arrasto ao Longo da Aplicação

Neste teste pretende-se estudar o comportamento da tinta ao longo da aplicação, através da medição da força de arrasto. Para isso foi criada uma rotina de pintura para aplicar uma faixa de tinta ao longo do suporte, com extensão de 20 passagens, à velocidade de 0.1 m/s e força normal de 200 g.

Os pontos medidos pelo ROBpaint foram analisados posteriormente utilizando diferentes conjuntos de pontos segundo 4 análises:

1. Pintura completa - as 20 passagens; 10 idas e 10 voltas
2. Pintura após distribuição da tinta sobre o suporte - 10 últimas voltas; 5 idas e 5 voltas
3. Transferência de tinta para o suporte - 4 primeiras passagens; 2 idas e 2 voltas

4. Retirar influência das primeiras passagens e do regime de espalhamento  
 - 6 passagens do meio; 3 idas e 3 voltas; (retiradas as 4 primeiras e as 10 últimas)

Os resultados apresentam-se na Tabela 5.

*Tabela 5: Valores médios da força de arrasto e respectivo desvio padrão, associado a diferentes segmentos das passagens dos testes.*

Ensaio	(g)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4
1	$F_{arrasto}$	31.6	31.7	31.6	31.4
	$S_{arrasto,Dir1}$	855 ± 4.2	856 ± 3.8	853 ± 5.1	854 ± 3.1
	$S_{arrasto,Dir2}$	918 ± 3.1	920 ± 2.5	916 ± 3.0	917 ± 2.2
2	$F_{arrasto}$	31.1	30.9	<b>32.6</b>	30.3
	$S_{arrasto,Dir1}$	856 ± 5.0	856 ± 4.5	854 ± 7.5	858 ± 2.4
	$S_{arrasto,Dir2}$	918 ± 4.0	917 ± 3.1	919 ± 4.1	919 ± 5.1
3	$F_{arrasto}$	29.1	29.8	<b>25.8</b>	30.1
	$S_{arrasto,Dir1}$	860 ± 4.8	859 ± 2.7	865 ± 6.8	858 ± 3.6
	$S_{arrasto,Dir2}$	918 ± 3.1	918 ± 2.7	917 ± 2.4	918 ± 3.8

Com este estudo é possível concluir que a influência da transferência inicial de tinta deve ser tida em atenção (Análise 3), já que nos ensaios 2 e 3 o valor da força de arrasto está afastado dos restantes valores.

Os valores obtidos nas Análises 2 e 4 são muito semelhantes, portanto conclui-se que após as 2 passagens iniciais o valor da carga estabiliza, já que a tinta está devidamente transferida para o provete, e passa-se à fase de espalhamento.

Na Análise 1 verifica-se que a influência da transferência de tinta não é relevante para a medida final.

É necessário ter em consideração que este estudo foi realizado à velocidade de 0.1 m/s, portanto no caso de estudos da força normal a velocidades mais elevadas deverão ser realizadas mais passagens.

### 3.1.5 Condições de Operação – Rotinas de Pintura

O ROBpaint é completamente programável e flexível no que diz respeito à autonomia de aplicação. Esta liberdade deve-se ao módulo para criação e edição de Rotinas de Pintura, permitindo ao operador do equipamento customizar todos os detalhes da sua pintura, dependendo do tipo de tinta/suporte que pretende utilizar. Todas as Rotinas de Pintura ficam guardadas em arquivo, podendo ser utilizadas sempre que oportuno.

No caso apresentado nesta secção pretende-se a criação de uma rotina de pintura que permita a aplicação de uma tinta decorativa de interior (Tinta D) de tal forma que o acabamento final seja semelhante ao obtido quando realizada pelo pintor humano.

#### a) Preparação das Placas

As placas de Viroc são altamente alcalinas e isso interfere no resultado da pintura. Para reduzir o nível de alcalinidade do material embeberam-se algumas placas em água. Ao fim de dois dias retiraram-se da água, passaram-se por água limpa e deixaram-se a secar. Depois de secas, para uniformizar as condições do substrato, aplicou-se o primário nas placas e finalmente as placas ficaram prontas a ser objecto de estudo nas aplicações do ROBpaint.

#### b) Criação de Rotinas de Pintura

O instrumento ROBpaint permite a configuração por parte do operador de rotinas de pintura. Com o objectivo de criar uma rotina de aplicação semelhante à aplicação do operador humano, foi necessário adquirir alguma sensibilidade prática nesta área. Para isso efectuaram-se diversas aplicações manualmente em placas de Viroc, e posteriormente tentou adaptar-se uma aplicação no ROBpaint, começando por se criar a configuração de uma rotina base, que se foi modificando mediante a avaliação dos resultados finais obtidos visualmente.

Desenvolveram-se vários protótipos de testes com o cuidado de lavar sempre o rolo entre cada aplicação com a mesma tinta para tentar aperfeiçoar o sistema de pintura, de modo a atingir um resultado válido partindo de um rolo sempre limpo de tinta, para evitar falhas de cobertura no substrato quando se estrear um rolo novo. Mesmo com um programa adaptado a uma pintura com o rolo inicialmente isento de tinta, por segurança, efectuou-se sempre uma primeira aplicação com o objectivo de encharcar o rolo, para assegurar melhores resultados nas seguintes aplicações. Assim após vários testes, definiu-se que a primeira aplicação de cada uma das tintas tem como função molhar e uniformizar a distribuição de tinta no rolo e só então se faz a aplicação na placa, previamente pintada com o primário.

Na Tabela 6 estão registados os vários passos para chegar à rotina de pintura pretendida.

Tabela 6: Iterações para atingir a Rotina de Pintura

Rotina	Alterações efectuadas	Observações/Características corrigidas
0 → 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da velocidade</li> <li>• Diminuição da pressão de pintura geral</li> <li>• Aumento do espaçamento entre passagens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a cobertura da superfície pintada - corrigir falhas de tinta</li> </ul>
1 → 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da recarga de tinta na pintura vertical1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a cobertura da aplicação</li> </ul>
2 → 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da recarga de tinta</li> <li>• Aumento da pressão de pintura vertical1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a cobertura da aplicação</li> </ul>
3 → 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da recarga de tinta</li> <li>• Aumento do número de passagens vertical1 e horizontal1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar o aspecto visual da pintura</li> </ul>
4 → 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do nº de ciclos de pintura vertical 2x</li> <li>• Diminuição da recarga de tinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a cobertura da aplicação</li> </ul>
5 → 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da recarga de tinta na pintura vertical 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a cobertura da aplicação</li> </ul>
6 → 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da recarga de tinta na pintura vertical 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nota-se mais as faixas deixadas pelo rolo porque ficam com muita tinta</li> </ul>
7 → 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição da recarga de tinta na pintura vertical 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disfarçar os corredores marcados pelo rolo</li> </ul>

Das 8 rotinas criadas a que deixa um acabamento mais próximo à de um pintor humano é a Rotina 6. Esta avaliação foi realizada em conjunto com um colaborador especializado da Barbot.

Uma rotina de pintura é composta de Estados, Condições de Operação e Transições. Na Figura 15 é apresentada a rotina 6, a escolhida, sendo que a vermelho se apresentam os 7 estados considerados necessários à imitação da aplicação humana. Cada estado tem diversas condições de operação, a verde, e uma transição, a azul.

Fizeram-se aplicações com o mesmo tipo de tinta mas de bases diferentes e com diferentes corantes e também com diferentes tintas. Conseguiram-se obter resultados de pintura uniformes agradáveis visualmente, como se mostra na Figura 16.

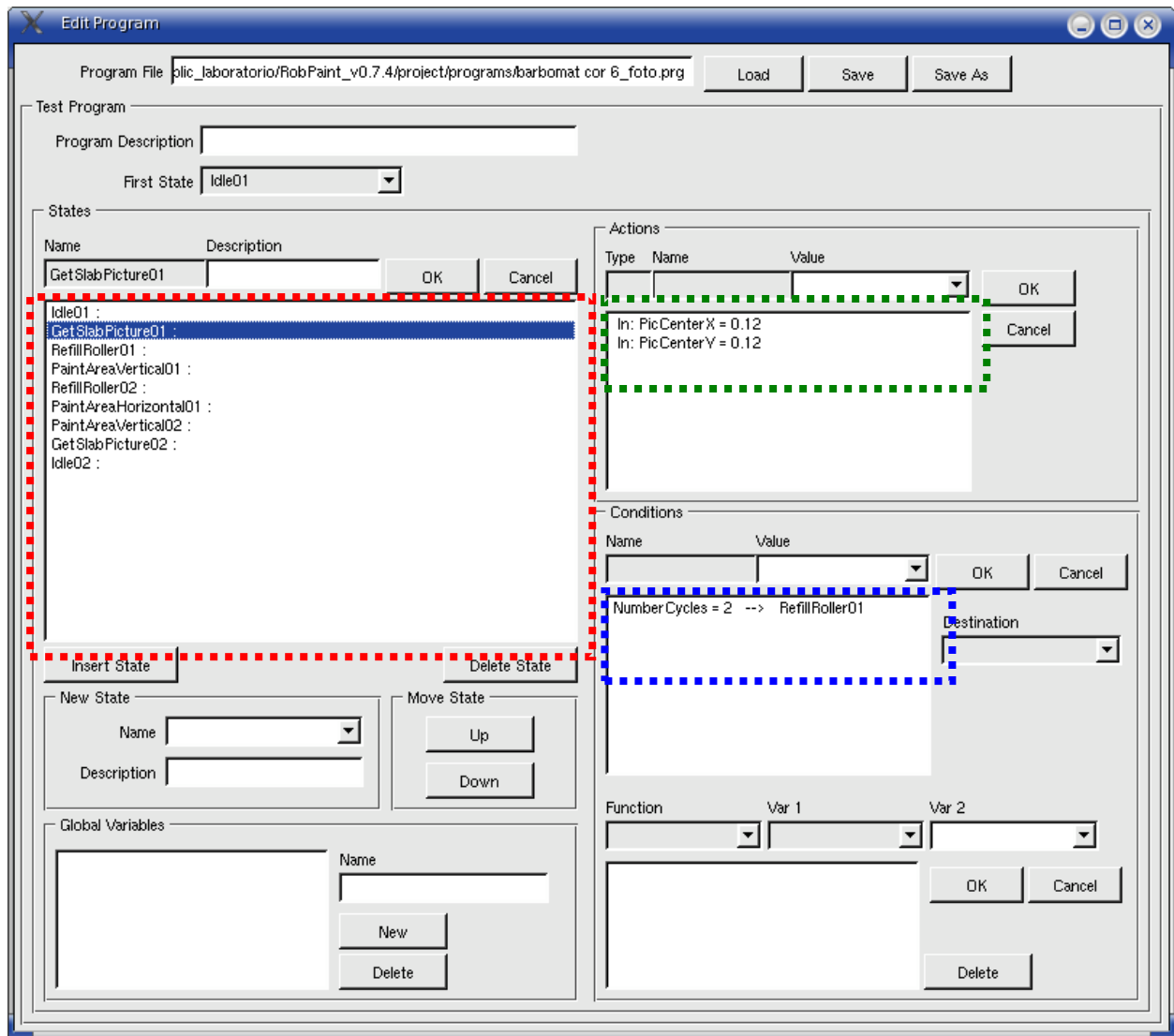


Figura 15: Módulo para criação e edição de Rotinas de Pintura

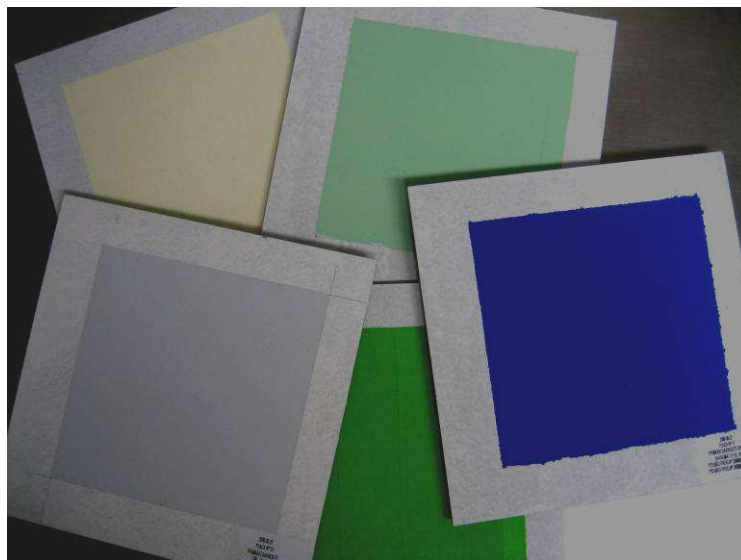


Figura 16: Exemplos de aplicações executadas com o ROBpaint.

### c) Reprodutibilidade

Para aferir a reprodutibilidade da rotina de pintura criada, foram realizadas aplicações em placas Viroc previamente tratadas para posteriormente se determinar a quantidade de tinta que fica na placa e o respectivo rendimento da aplicação.

A estimativa do rendimento da tinta é um factor chave para a avaliação de custos dos clientes finais e aplicadores.[7]

O rendimento obtido na prática é função de muitos factores, sendo os principais, o volume de tinta necessário para uma dada especificação, as perdas devido ao estado da superfície, distribuição da tinta, procedimento de aplicação e desperdícios.

O rendimento foi calculado tendo em consideração uma área de aplicação da tinta,  $A$  em  $m^2$ . Fazendo a diferença de peso do provete em (g),  $P_{seca}$  e  $P_{1^a húmida}$ , respectivamente antes e depois de se aplicar a tinta, obtém-se a camada de filme,  $m_{tinta}$  em (g)

$$m_{tinta} = P_{1^a húmida} - P_{seca} \quad (6)$$

Conhecendo a densidade da tinta,  $\rho$  em (g/l), calcula-se o rendimento prático,  $\eta$  em  $m^2/l$

$$\eta = \frac{\rho}{\frac{m_{tinta}}{A}} \quad (7)$$

A preparação das placas de Viroc foi realizada com dois primários distintos. Um primário aquoso e outro de base de solvente, denominados Primário A e Primário B respectivamente.

Depois de preparados os provetes realizaram-se duas aplicações sobre os dois primários à mão e as restantes aplicações no ROBpaint para se comparar a diferença de rendimento numa aplicação manual e noutras robotizadas. Os resultados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Rendimento de aplicação sobre diferentes primários

Forma de Aplicação	Primário	Tinta	Rendimento 1 <sup>a</sup> demão (m <sup>2</sup> /L)	Rendimento 2 <sup>a</sup> demão (m <sup>2</sup> /L)
Mão	Primário A	Tinta D	21.4	17.1
Mão	Primário B	Tinta D	26.3	22.9
ROBpaint	Primário A	Tinta D	16.2	12.3
ROBpaint	Primário A	Tinta D	16.4	13.2
ROBpaint	Primário A	Tinta D	15.2	12.9
ROBpaint	Primário A	Tinta D	15.6	13.1
ROBpaint	Primário B	Tinta D	19.6	15.8
ROBpaint	Primário B	Tinta D	20.0	15.0
ROBpaint	Primário B	Tinta D	20.6	17.1
ROBpaint	Primário B	Tinta D	20.1	16.2

Verifica-se que a quantidade de tinta que foi gasta nas aplicações do ROBpaint foi superior à quantidade gasta à mão. Tanto nas aplicações à mão como nos ensaios do ROBpaint observa-se uma diminuição do rendimento da 1<sup>a</sup> demão para a 2<sup>a</sup> demão.

Constata-se também, tanto na aplicação à mão como nos ensaios do ROBpaint, que a quantidade de tinta aplicada altera-se consoante o primário onde é aplicada. Este facto poderá estar relacionado com o conceito de molhabilidade, uma vez que as características de molhamento dependem essencialmente da rugosidade da superfície, viscosidade e/ou tixotropia da substância líquida, tensão superficial do substrato, que tem de ser maior do que a da tinta, e ainda da polaridade ou não polaridade do líquido e do substrato. A Figura 17 mostra três situações distintas de molhabilidade: (a) elevada molhabilidade,  $\theta = 0$ ; (b) molhabilidade parcial,  $0 < \theta < \pi$ ; (c) sem molhabilidade,  $\theta = \pi$ . Aqui  $\theta$  é o ângulo de contacto entre o líquido e a superfície e é determinado a partir de um balanço de forças devido às tensões superficiais ao longo da linha de contacto.

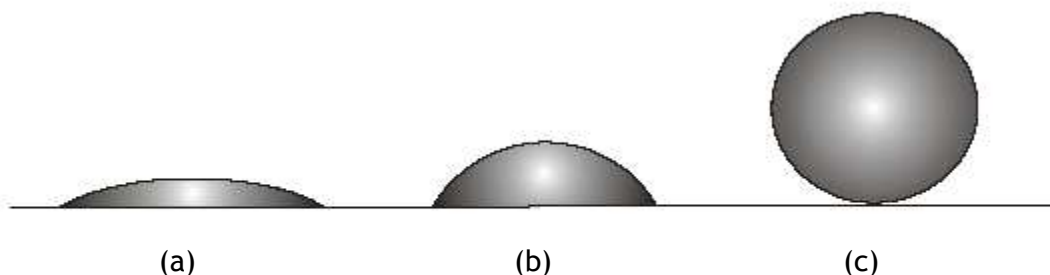


Figura 17: Comportamento de uma gota de líquido sobre uma superfície com diferentes molhabilidades [8]

Neste caso as placas depois de secas podem ter adquirido características diferentes consoante os primários que lhe foram aplicados e isso reflectiu-se nos rendimentos obtidos.

Finalmente observa-se uma correlação directa entre o rendimento da 1º e 2º demão, isto é o rendimento da 2º demão, embora realizado já sobre uma camada de tinta e não sobre primário, depende do primário usado.

#### d) Exploração de outras características da aplicação

Na formulação de tintas são utilizados aditivos para melhorar certas características das tintas que são importantes para o consumidor final, no que diz respeito ao acabamento da superfície, como por exemplo evitar a proliferação de fungos, o cheiro, ou o aparecimento de espumas. O ROBpaint pode ser uma ferramenta importante na avaliação do efeito destes aditivos na aplicação da tinta, já que ao realizar aplicações automáticas e reproduzíveis, a comparação entre tintas será sempre baseada em aplicações semelhantes.

Um dos aspectos importantes no acabamento de um filme de tinta é a ausência de espuma, gerada na produção ou pela mistura de tinta e ar no momento da aplicação. Através da visão digital do ROBpaint foi realizada uma análise do efeito da adição de anti-espumas numa tinta que apresenta esse problema.

Os resultados das aplicações no ROBpaint encontram-se na Figura 18 e Figura 19\*. Primeiro (a) aplicou-se a Tinta D depois de passar pelo misturador e de ser gerada uma grande quantidade de espuma. De seguida (b) voltou a mexer-se a tinta de forma a ser retirada alguma espuma e voltou a aplicar-se. Por último (c) adicionou-se uma pequena percentagem de anti-espuma e aplicou-se novamente a tinta.

Mais uma vez observam-se diferenças depois de aplicada a mesma tinta nas mesmas condições sobre primários diferentes o que como referido anteriormente é devido às diferentes molhabilidades dos primários.

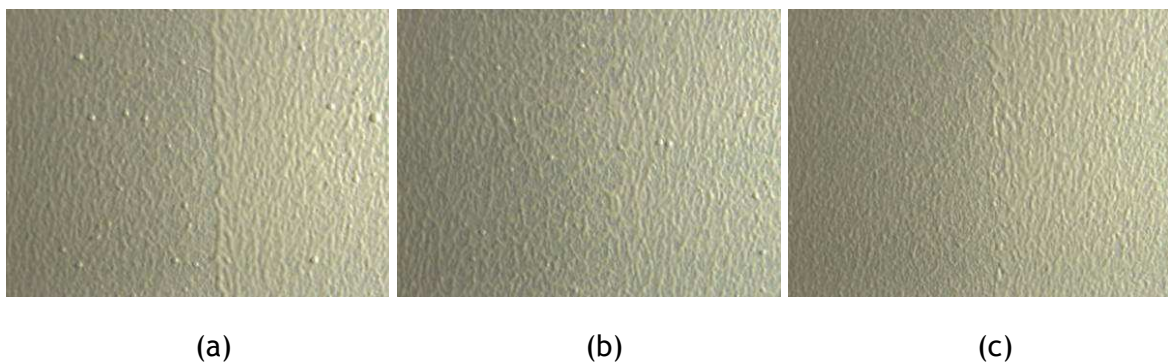
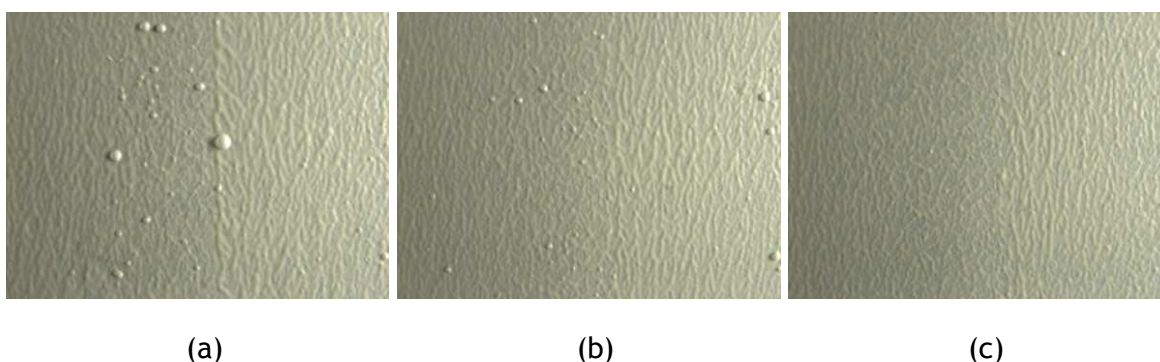


Figura 18: Aspecto da primeira aplicação feita com a Tinta D sobre uma placa com o

\* As mesmas imagens foram incluídas no anexo A em tamanho maior para uma melhor visualização.

*Primário A*

*Figura 19: Aspecto da primeira aplicação feita com a Tinta D sobre uma placa com o Primário B*

## 3.2 Testes Comparativos de Tintas

### 3.2.1 Aplicabilidade da Tinta

Para estudar a resposta do ROBpaint na aplicação de diferentes tintas foram utilizadas três tintas com diferentes viscosidades, que foram depois diluídas, permitindo assim comparar aplicações com seis viscosidades. Foi utilizado o teste padrão, para medição da força de arrasto, consistindo em 10 passagens na horizontal à velocidade constante e força normal variável, com as condições gerais descritas na Tabela 8.

*Tabela 8: Condições gerais de aplicação dos testes a tintas com viscosidades diferentes.*

Acabamento	Tinta A	Tinta B	Tinta C
Viscosidade (P)	1.5	2.01	1.2
Temperatura (°C)	23.5	23.5	23.5
Humidade (%)	50.1	45.9	48.7
n° passagens	10	10	10
Velocidade (m/s)	0.1	0.1	0.1
Substrato	Viroc	Viroc	Viroc

Acabamento	Tinta A diluída 15%	Tinta B diluída 5%	Tinta C diluída 15%
Viscosidade (P)	0.72	1.59	0.6
Temperatura (°C)	23.5	23.5	23.5
Humidade (%)	51.9	51.6	49.9
n° passagens	10	10	10
Velocidade (m/s)	0.1	0.1	0.1
Substrato	Viroc	Viroc	Viroc

O teste padrão considerado para este estudo, consiste na pintura de uma faixa horizontal de 20 cm de comprimento, onde a tinta é espalhada durante 10 passagens, 5 idas e

5 voltas, à velocidade de 0.1 m/s. A força normal imposta é variável partindo de 100 a 400 g em incrementos de 100 g. Para cada força normal, foram realizados 3 ensaios.

As diluições foram realizadas segundo a indicação que consta na ficha técnica, portanto as soluções foram feitas adicionando a percentagem referida de água nas diferentes tintas.

Os resultados estão representados na Tabela 9 e na Figura 20, onde se mostram os diferentes comportamentos das três tintas e respectivas diluições

Tabela 9: Forças de arrasto em testes a tintas com viscosidades diferentes.

	Tinta A	Tinta B	Tinta C
<b>Força Normal (g)</b>	$F_{arrasto}$	$F_{arrasto}$	$F_{arrasto}$
100	15.2 ± 0.67	15.6 ± 0.26	17.6 ± 0.67
200	21.7 ± 1.02	19.8 ± 0.24	23.3 ± 0.31
300	26.0 ± 1.28	25.0 ± 0.71	31.4 ± 0.84
400	37.3 ± 0.86	30.6 ± 0.78	35.5 ± 1.03

	Tinta A (dil 15%)	Tinta B (dil 5%)	Tinta C (dil 15%)
<b>Força Normal (g)</b>	$F_{arrasto}$	$F_{arrasto}$	$F_{arrasto}$
100	15.4 ± 1.94	20.0 ± 1.48	19.7 ± 1.47
200	23.1 ± 0.98	24.4 ± 0.83	25.4 ± 0.38
300	30.4 ± 0.38	27.0 ± 0.91	33.2 ± 0.95
400	35.3 ± 1.10	35.9 ± 1.24	38.6 ± 1.04

### Comparação de Tintas

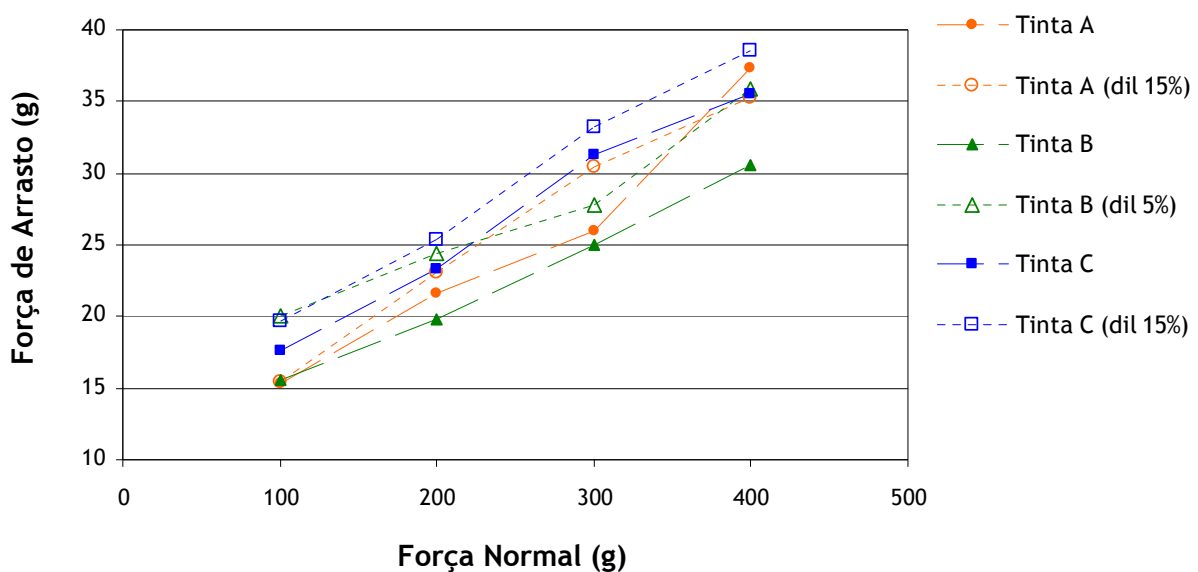


Figura 20: Comparação gráfica das forças de arrasto para diferentes tintas.

Analisando estes resultados pode efectivamente ter-se em consideração a interferência da viscosidade nos valores das forças de arrasto para as diferentes tintas. Verificando-se entre as diferentes tintas ou entre diferentes concentrações que contra o espectável, quanto maior é o valor da viscosidade menor é o valor da força de arrasto, respectivamente.

### **3.2.2 Rendimento da Tinta**

Com o objectivo de comparar o rendimento da aplicação das diferentes tintas diluídas sobre diferentes primários efectuaram-se aplicações segundo o mesmo procedimento adoptado na secção 3.1.5 quando foi analisada a reprodutibilidade das aplicações.

Depois de se prepararem os provetes para as aplicações iniciou-se uma sucessão de tarefas que se repetiu para todas as tintas e compostas por:

1. Pesar a placa de Viroc
2. Aplicação da 1ª demão pelo ROBpaint
3. Pesar a placa em húmido
4. Secagem da tinta
5. Pesar a placa de Viroc e filme aplicado
6. Dar a 2ª demão no ROBpaint
7. Pesar a placa com a 2ª demão húmida

Na Tabela 10, evidencia-se a relação entre os primários utilizados e entre as diferentes tintas aplicadas.

Tabela 10: Rendimento de aplicação entre tintas sobre diferentes primários

Tinta	Primário	Rendimento 1 <sup>a</sup> demão(m <sup>2</sup> /L)	Rendimento 2 <sup>a</sup> demão (m <sup>2</sup> /L)
Tinta A	Primário A	14.8	12.7
		12.7	11.9
	Primário B	13.3	12.4
		23.0	16.9
		26.7	17.6
		28.1	17.9
Tinta B	Primário A	21.4	7.0
		20.2	7.3
	Primário B	18.6	7.4
		27.1	7.8
		29.6	7.5
		28.6	7.4
Tinta C	Primário A	12.2	11.8
		11.5	11.6
	Primário B	11.5	11.2
		19.7	12.8
		18.2	14.2
		20.7	14.6

Observa-se que sobre o primário A o rendimento é inferior na 1<sup>a</sup> demão e na 2<sup>a</sup> demão em todas as aplicações em relação ao primário B, qualquer que seja a tinta em questão. Os resultados da Tabela 10 corroboram, tal como já se verificou, que dependendo das condições do substrato sobre o qual se aplica a tinta também varia a quantidade de tinta que fica retida no provete. Independentemente da tinta ou do primário aplicados na 1<sup>a</sup> demão e respectiva 2<sup>a</sup> demão verifica-se uma diminuição do rendimento prático pois o provete retém maior quantidade de tinta. Os rendimentos obtidos nas aplicações da tinta B foram superiores aos das tintas A e C na 1<sup>a</sup> demão, distinguindo-se uma redução evidente dos rendimentos da 2<sup>a</sup> demão com valores inferiores aos das restantes tintas. Assim como a Tinta A também apresenta rendimentos superiores aos da Tinta C.

Não é possível evidenciar nenhuma semelhança no que diz respeito às tintas estudadas, já que todas apresentaram rendimentos diferentes em função dos primários em que foram aplicados.

### 3.2.3 Acabamento da Tinta

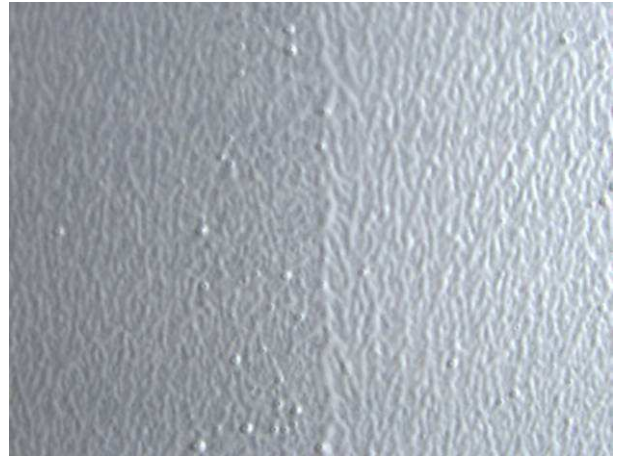
Continuando o comparativo entre as tintas, avaliou-se o aspecto visual da pintura realizada pelo ROBpaint. As aplicações realizadas seguiram uma ordem idêntica à estabelecida na execução das aplicações do estudo da reprodutibilidade.

Da Figura 21 à Figura 26 está exposta a sequência de pintura de cada uma das tintas e respectivos primários.

#### *Tinta A - Primário A*



(a) Provete com primário



(b) 1ª demão - húmida



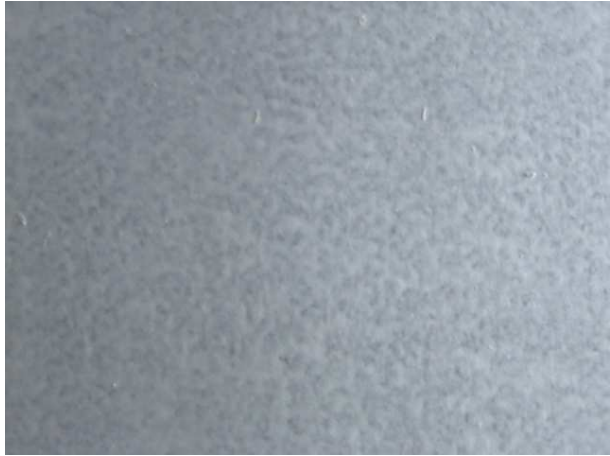
(c) 1ª demão - seca



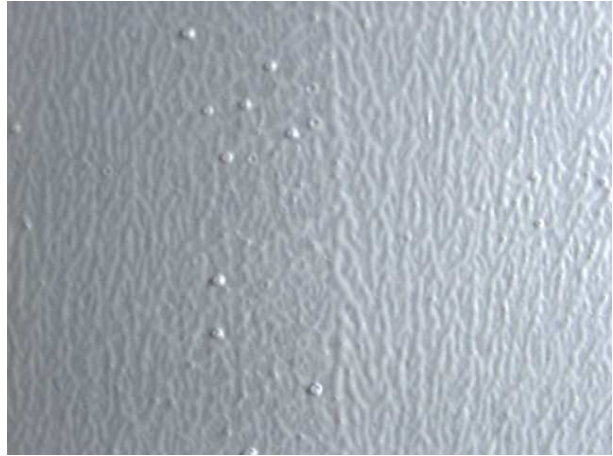
(d) 2ª demão - húmida

*Figura 21: Resultado da aplicação da Tinta A sobre o Primário A*

**Tinta A - Primário B**



(a) Provete com primário



(b) 1ª demão - húmida



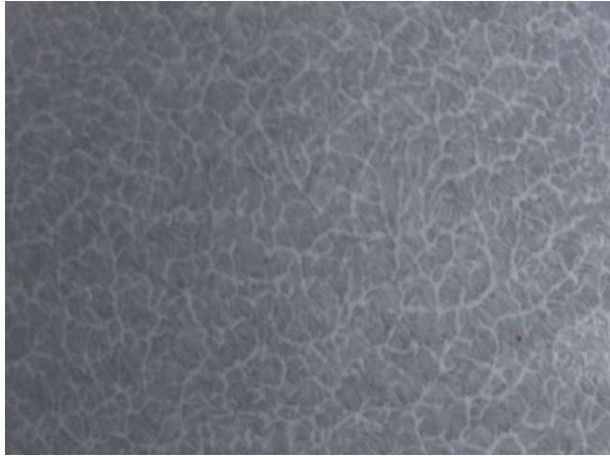
(c) 1ª demão - seca



(d) 2ª demão - húmida

*Figura 22: Resultado da Aplicação da tinta A sobre o Primário B*

**Tinta B - Primário A**



(a) Provete com primário



(b) 1ª demão - húmida



(c) 1ª demão - seca



(d) 2ª demão - húmida

*Figura 23: Resultado da aplicação da Tinta B sobre o Primário A*

**Tinta B - Primário B**



(a) Provete com primário



(b) 1ª demão - húmida



(c) 1ª demão - seca



(d) 2ª demão - húmida

*Figura 24: Resultado da aplicação da Tinta B sobre o Primário B*

**Tinta C - Primário A**



(a) Provete com primário



(b) 1ª demão - húmida



(c) 1ª demão - seca



(d) 2ª demão - húmida

*Figura 25: Resultado da aplicação da Tinta C sobre o Primário A*

**Tinta C - Primário B**

(a) Provete com primário



(b) 1ª demão - húmida



(c) 1ª demão - seca



(d) 2ª demão - húmida

**Figura 26: Resultado da aplicação da Tinta C sobre o Primário B**

Observa-se que o efeito do primário não é significativo em relação ao aspecto final das aplicações realizadas, quando aplicada com a mesma tinta. Apenas nas Figura 21 e Figura 22 observa-se o aparecimento de espuma sobre na camada húmida. Em relação à aplicação da

A Tinta B tem uma textura mais acentuada, devido a ter maior viscosidade, enquanto as Tintas A e C têm acabamentos semelhantes.

### 3.2.4 Conclusões

O ROBpaint revelou-se uma ferramenta robusta e fiável para aplicação de tintas, permitindo aplicações exactamente nas mesmas condições de quando aplicadas por um operador, com a vantagem de evitar as imprecisões inerentes ao aplicador humano.

Em aplicações que testaram os sensores de carga que integram o ROBpaint concluiu-se que existe grande reprodutibilidade na força de arrasto entre ensaios diferentes realizados nas mesmas condições. Para garantir uma estimativa estável da força de arrasto por parte do ROBpaint não se deverá ultrapassar a velocidade de aplicação além dos 0.1 m/s qualquer que seja a força normal imposta. Admitindo estas condições, relativamente à aplicabilidade das tintas, contrariamente ao previsto, verificou-se o aumento da força de arrasto com a diminuição da viscosidade. Portanto para a amostra de tintas em questão, mostram-se mais fácil de aplicar as tintas com maior viscosidade. Em relação às forças normais impostas, independentemente da tinta aplicada, verificou-se de forma quase linear um aumento da força de arrasto com o aumento da força normal, já que existe maior atrito no sistema de aplicação: provete - rolo.

Avaliando a reprodutibilidade das aplicações no ROBpaint, estimando um rendimento prático, constatou-se a influência das características do material sobre o qual se faz a aplicação, cuja motivação se presume ser derivada a propriedades específicas desse material, tais como a afinidade do substrato à tinta. O Primário A é o que apresenta menor molhabilidade uma vez que todas as aplicações feitas sobre este primário retiveram uma maior quantidade de tinta por  $m^2$ . A Tinta B é a que deixa maior película de filme sobre o provete, provavelmente devido à sua viscosidade e por ser uma tinta de maior elasticidade.

No que diz respeito ao aspecto final das tintas, a Tinta A e C são muito semelhantes na textura após secagem. A Tinta A evidencia o aparecimento de bolhas de ar, algo não verificado na Tinta C. A Tinta B apresenta uma textura muito acentuada provavelmente devido ao tipo de rolo utilizado na aplicação, não ser o mais apropriado.

O ROBpaint foi bem aceite no laboratório de I&D da Barbot, sendo solicitado para outras aplicações e estudos que no decorrer desta tese não foram possíveis de realizar.

## 4 Avaliação do trabalho realizado

### 4.1 Objectivos Realizados

Um dos objectivos deste trabalho foi promover a nova tecnologia de análise e aplicação automática de tintas - ROBpaint - nos laboratórios de I&D da Barbot.

O principal objectivo foi comprovar a reprodutibilidade dos resultados fornecidos pelos sensores que constituem o ROBpaint, relacionando forças de arrasto vs aplicabilidade de tintas e testar a visão digital do ROBpaint comparando o aspecto da aplicação vs rendimento de tintas. Cumprido este objectivo, desenvolveu-se o estudo do comportamento reológico de várias tintas actualmente comercializadas pela Barbot.

### 4.2 Outros Trabalhos Realizados

A integração na rotina dos trabalhos realizados no laboratório de I&D da Barbot foi a base para iniciar e dar continuidade ao desenvolvimento do novo instrumento laboratorial ROBpaint.

Ao longo deste estágio foi realizado, paralelamente, um trabalho de estudo da resistência de diferentes tintas sobre diferentes primários quando expostas a várias condições naturais, simuladas por equipamentos de forma intensa de modo a acelerar a degradação e envelhecimento das tintas. Associado este estudo foi necessário adquirir conhecimento prático do modo de funcionamento destes equipamentos.

Foi também elaborado o Manual de Funcionamento do instrumento laboratorial ROBpaint para apoiar futuras utilizações deste equipamento.

### 4.3 Limitações e Trabalho Futuro

Através da reprodutibilidade alcançada por este equipamento parece sugestivo utilizá-lo em futuras aplicações para testar alguns dos constituintes das tintas que influenciam a sua qualidade e características.

Por exemplo, a resistência e a durabilidade desejável numa película de tinta, pode ser testada através do efeito da adição de diferentes pigmentos aplicando-a sobre o mesmo substrato e com as mesmas condições para posteriormente se sujeitarem as aplicações aos devidos testes e daí retirar as devidas conjecturas. Estas são duas características importantes

pois a sua escassez conduz à perda de brilho, gizamento (esfarelamento dos pigmentos e cargas), e alteração de cor.

Outra sugestão seria a adição de substâncias que pudessem melhorar o espalhamento da tinta sobre o substrato e observar os resultados obtidos quer ao nível de rendimento da aplicação quer de aspecto visual. Para obter uma boa aderência às superfícies é importante uma boa molhagem do substrato ou uma reacção química entre a tinta e a superfície a pintar.

Neste momento as aplicações estão limitadas a um só tipo de rolo no entanto fazer aplicações com diferentes rolos seria relevante uma vez que existem determinados rolos indicados para diferentes tipos de tintas e isso aproximaria mais a aplicação à realidade.

Assim como, dependendo do efeito a que se destina a tinta é importante testar vários tipos de substratos.

Seria interessante um estudo mais aprofundado da relação da força de arrasto com o tipo de aplicações realizadas, para compreender a influência dos atritos mecânicos entre rolo e provete e da tinta e suas características.

O estudo da espessura de filme relativamente ao comportamento da tinta após aplicação, também poderá ser um aspecto a considerar em futuros estudos de forma a definir esquemas de pintura considerando um determinado conjunto de tintas e fixando determinadas espessuras ou número de demãos sucessivas, de modo a decidir sobre o esquema mais aconselhável.

#### **4.4 Apreciação final**

A inserção e o trabalho realizado nas duas empresas em simultâneo revelou-se uma experiência enriquecedora, não só pela criação de novas relações interpessoais e companheirismo, mas também pela aquisição de novas valências em duas áreas distintas. Na Fluidinova foram adquiridos conhecimentos base essenciais para a operação e princípios de funcionamento intrínsecos à nova tecnologia ROBpaint. A Barbot contribuiu fundamentalmente com o seu know-how para potenciar as capacidades e a utilização do ROBpaint. Foram transmitidos conhecimentos e foi adquirida prática no âmbito da caracterização reológica, composição e aplicabilidade de tintas, bem como boas práticas laboratoriais.

Foi possível também nas instalações da Barbot, utilizar outros equipamentos de medida, nomeadamente:

- os viscosímetros ICI, Brookfield, Stormer e o HAAKE
- QUV - Câmara de envelhecimento ambiental acelerado

- Q-Sun - Câmara que reproduz os comprimentos de onda de luz nocivos.

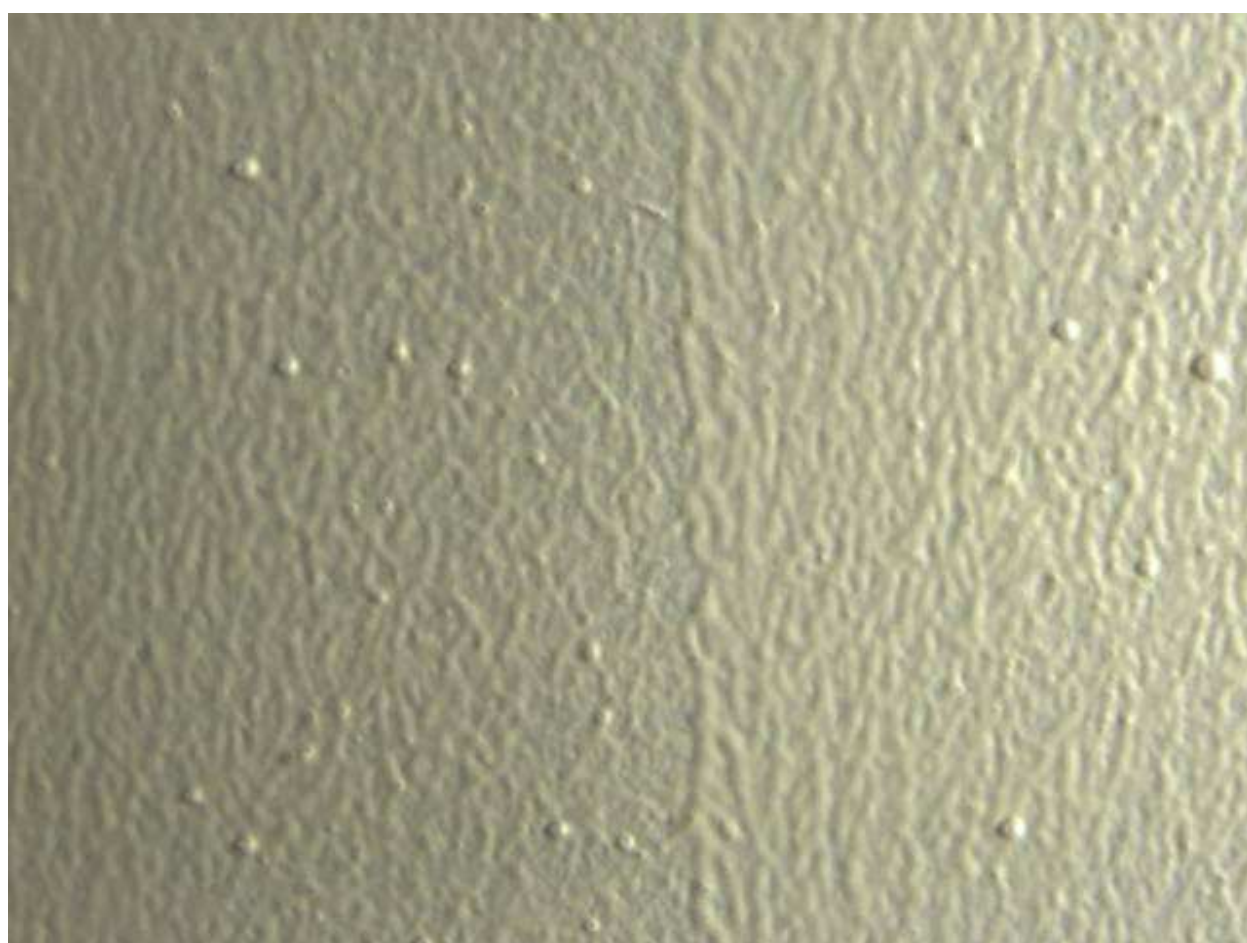
## Referências

- [1] - [www.qmc.ufsc.br/~minatti/docs/20051/viscosimetria\\_cisalhamento.doc](http://www.qmc.ufsc.br/~minatti/docs/20051/viscosimetria_cisalhamento.doc)
- [2] - Alberto Gomes de Castro, José António Covas, António Correia Diogo - Reologia e suas aplicações industriais - Ciência e Técnica - Instituto PIAGET
- [3] - H.A. Barnes, J.F. Hutton, K. Walters, *An Introduction to Rheology*, Elsevier, 1997.
- [4] - [http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/ralmeida/MC\\_ficheiros/Trabalhos%20te%C3%B3rica/Grupo%20M%20-%20Tintas%20e%20Vernizes.pdf](http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/ralmeida/MC_ficheiros/Trabalhos%20te%C3%B3rica/Grupo%20M%20-%20Tintas%20e%20Vernizes.pdf)
- [5] - <http://www.fluidinova.pt/main.php?id=30>
- [6] - José Carlos BRITO LOPES, António Paulo MOREIRA, Paulo GOMES DA COSTA, Ricardo Jorge NOGUEIRA DOS SANTOS - DEVICE FOR APPLICATION OF A LIQUID SUBSTANCE FOR FILM COATING AND ITS USE IN MEASURING OF THE APPLICABILITY CHARACTERISTICS OF A COATING FILM - PCT/IB2006/053521
- [7] - [www.international-pc.com/pc/pds/the\\_pt.pdf](http://www.international-pc.com/pc/pds/the_pt.pdf)
- [8] - [www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5416/aulas/aula02.pdf](http://www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5416/aulas/aula02.pdf)

## Anexo A    Imagens de características de tintas

Como descrito na Secção 3.1.5 relativamente às características de tintas com tendência a formar espumas, apresentam-se aqui os resultados obtidos pela unidade de aquisição de imagens do ROBpaint.

Nas Figura 27 à Figura 28 constam os resultados da primeira aplicação feita com a tinta D sobre uma placa com o primário A e outra com o primário B, após a agitação da tinta de forma a ser introduzida uma grande percentagem de ar.



*Figura 27: Resultados da aplicação sobre o primário A*

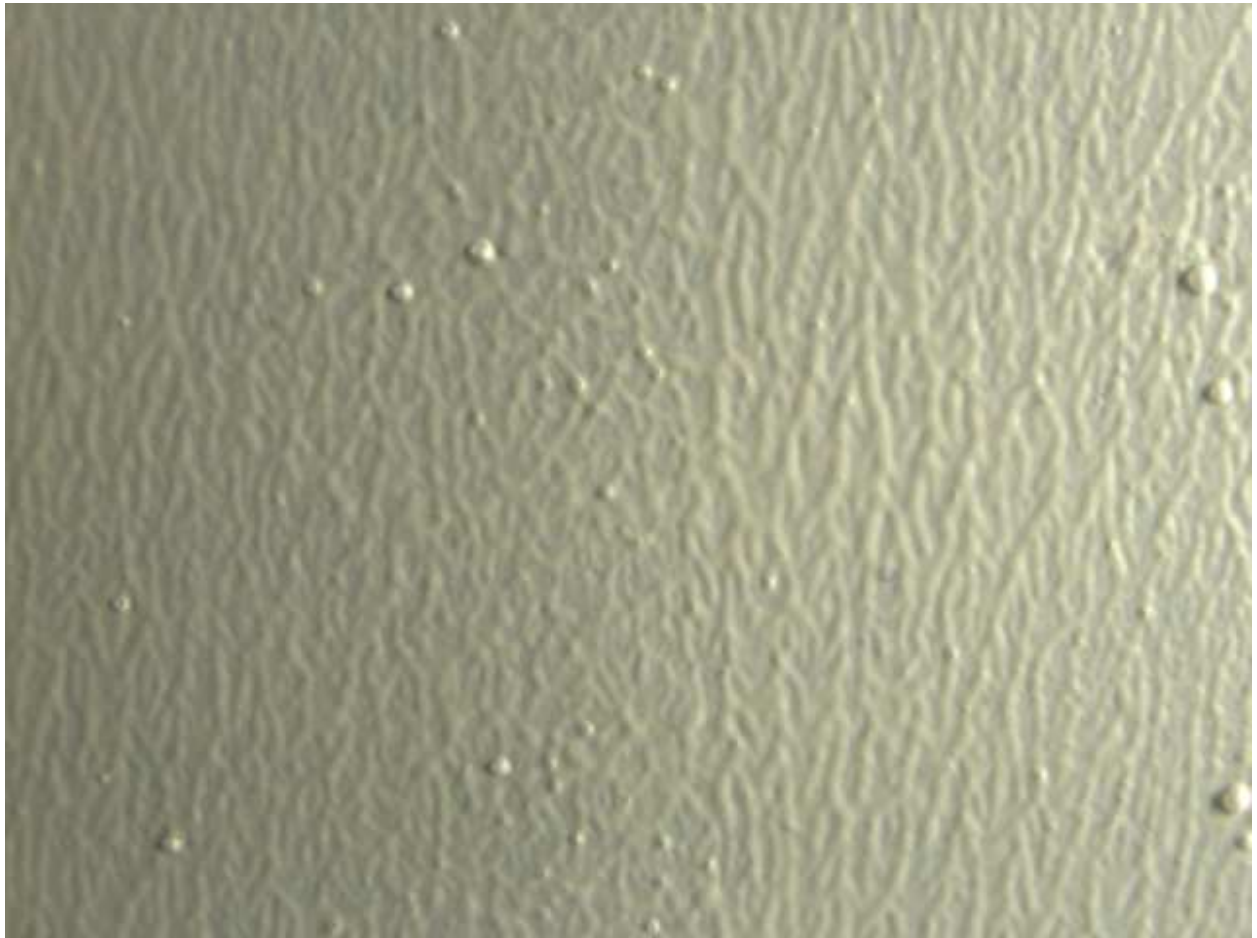


*Figura 28: Resultados da aplicação sobre o primário B.*

Depois de voltar a mexer devidamente a tinta D de forma a restabelecer o estado normal da tinta, isto é, com menos espuma observaram-se os seguintes resultados nas Figura 29 e Figura 30 com os primários A e B, respectivamente.



*Figura 29: Resultados da aplicação sobre o primário A.*



*Figura 30: Resultados da aplicação sobre o primário B.*

Por fim adicionou-se um anti-espuma à tinta D e o efeito final obtido com os primários A e B apresenta-se nas Figura 31 e Figura 32.



*Figura 31: Resultados da aplicação sobre o primário A.*



*Figura 32: Resultados da aplicação sobre o primário B.*