



M 2020

IDENTIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DEFEITOS DA SUPERFÍCIE DE AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS REVESTIDOS COM PAPEL DECORATIVO

ANA FILIPA PINTO SILVA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Identificação e interpretação de defeitos da superfície de painéis de aglomerados de partículas revestidos com papel decorativo

Dissertação de Mestrado

de

Ana Filipa Pinto Silva

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

EuroResinas - Indústrias Químicas S.A.



Orientadores na FEUP: Prof. Dr. Luísa Carvalho

Prof. Dr. Fernão D. Magalhães

Coordenadora na EuroResinas - Indústrias Químicas S.A.: Doutora Nádia Paiva



julho de 2020

Agradecimentos

O primeiro agradecimento dirige-se à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e à EuroResinas, por permitirem a realização desta tese em ambiente empresarial.

Também queria demonstrar o meu profundo agradecimento à Doutora Nádía Paiva por ter orientado o projeto na empresa. De seguida, gostaria de agradecer ao Professor Fernão Magalhães e à Professora Luísa Carvalho pela disponibilidade de orientar o projeto e por todo o conhecimento que partilharam no seu decorrer.

Um agradecimento também muito especial ao Professor Jorge Martins, do Instituto Politécnico de Viseu, que foi uma peça vital na escolha dos ensaios de análise das amostras tal como na escolha dos ensaios de simulação.

Outra peça importante na realização deste projeto foi a Associação de Rede de Competência de Polímeros, pela disponibilização dos equipamentos utilizados nos ensaios de análise das amostras.

A toda equipa da EuroResinas, o meu especial agradecimento por toda ajuda prestada e por todo o conhecimento partilhado. Devo aqui salientar um agradecimento especial à Beatriz que, para além da ajuda nos ensaios de SEM, demonstrou sempre disponibilidade.

Por último, o meu agradecimento especial aos meus pais e pessoas queridas que foram peças fundamentais na conclusão desta etapa com sucesso.

A Prof. Dr. Luísa Carvalho e o Prof. Dr. Fernão D. Magalhães, orientadores desta dissertação, são membros integrados do LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado por: Financiamento Base - UIDB/00511/2020 da Unidade de Investigação - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Projeto Innosurf - Superfícies Inovadoras, projeto financiado pelo programa Portugal 2020 com o n.º POCI-01-0247-FEDER-33768, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do COMPETE2020-Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI).

Resumo

Uma das características mais importantes no aglomerado de partículas, é a qualidade da sua superfície. A qualidade da superfície do aglomerado permite o seu revestimento, aumentando assim o valor comercial do produto. O trabalho em questão teve como objetivo a identificação dos defeitos que estão associados à superfície do aglomerado, o estudo das possíveis causas para a falta de qualidade tal como a análise dos métodos que são mais eficazes no estudo das superfícies.

De forma sucinta, o processo de produção dos aglomerados de partículas pode ser dividido nas seguintes etapas: preparação da estilha, preparação das partículas, secagem, separação granulométrica, encolagem, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem, arrefecimento e estabilização, acabamento, inspeção e embalagem. O aglomerado de partículas pode depois ser pintado ou revestido com vários materiais, tais como, papel decorativo (impregnado com resina melamínica), papel *kraft*, PVC, folha de madeira natural, entre outros. Neste caso, estudou-se os defeitos que estão associados aos aglomerados de partículas revestidos com papel decorativo impregnado com resina melamínica.

Na análise das amostras industriais foram identificados 5 tipos de defeitos. Dos ensaios realizados nestas amostras, foi possível concluir que os defeitos caracterizados como manchas escuras e pontos brilhantes na superfície deverão estar associados à falta de qualidade do papel decorativo. As restantes amostras, que podem todas ser caracterizadas como mossas, deverão estar associadas à falta de qualidade da superfície do aglomerado. Apesar de se caracterizarem todas como mossas, podem-se distinguir três tipos distintos de defeitos. Dos ensaios de simulação de defeitos, foi possível identificar que as manchas escuras devem estar associadas a problemas do teor em resina do papel decorativo. Destes ensaios, foi possível também concluir que as mossas com um aspeto vidrado, em que na zona de transição ocorre a quebra do papel decorativo, surgem da falta de uma secção de material na superfície do aglomerado. Apesar de não se terem identificados mais casos de replicabilidade, foram identificadas várias condições que tem a potencialidade de gerar defeitos.

Dos métodos utilizados para a avaliação dos defeitos, o mais eficaz foi o uso dos perfis primários. As análises à lupa foram muito eficazes na avaliação de defeitos com maior dimensão. As análises com o microscópio eletrónico de varrimento foram uma ótima ferramenta na análise de defeitos de menor dimensão.

Palavras Chave: Aglomerado de partículas; Papel decorativo; Defeitos; Perfis primários.

Abstract

One of the most important characteristics of the particleboard, is the quality of its surface. The quality of the particleboard surface allows it to be coated, thus increasing the commercial value of the final product. The study in question aimed to identify the defects that are associated with the surface of the particleboard, to study the possible causes for lack of quality, as well as the analysis of the methods that are most effective in the study of surfaces.

Succinctly, the production process of particleboard can be divided into the following steps: chip preparation, particle preparation, drying, particle sorting, blending, mattress forming, pre-pressing, pressing, cooling and stabilization, finishing, inspection and packaging. The particleboard can then be painted or coated with various materials, such as decorative paper (impregnated with melamine resin), kraft paper, PVC, natural wood sheet, among others. In this case, the defects that are associated with particleboard coated with decorative paper impregnated with melamine resin were studied.

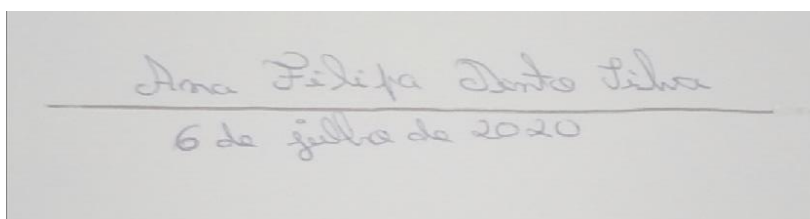
In the analysis of industrial samples, 5 types of defects were identified. From the tests performed on these samples, it was possible to conclude that defects characterized as dark spots and bright spots should be associated with lack of quality of the decorative paper. The remaining samples, which can all be characterized as hollows, should be associated with a lack of quality of the surface of the particleboard. Although they are all characterized as hollows, three distinct types of defects can be distinguished. From the tests that aimed to simulate defects, it was possible to identify that the dark spots must be associated with problems of the resin content of the decorative paper. From these tests, it was also possible to conclude that hollows with a glazed appearance, in which in the transition zone the decorative paper breaks, arise from the lack of material on the surface of the particleboard. Although no more cases of replicability have been identified, several conditions have been identified that have the potential to generate defects.

Of the methods that were used to evaluate defects, the most effective was the use of primary profiles. Stereo microscope analyses were very effective in assessing larger defects. The analyses with the scanning electron microscope were a great tool in the analysis of smaller defects.

Keywords: Particleboard; Decorative Paper; Defects; Primary Profiles.

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.



Ama Filipa Bento Silva
6 de julho de 2020

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	2
1.3	Contributos da autora para o Trabalho	3
1.4	Organização da Tese	4
2	Contexto e Estado da Arte	5
2.1	Matérias-primas	6
2.1.1	Madeira e materiais lenhocelulósicos	6
2.1.2	Adesivos sintéticos.....	6
2.1.3	Aditivos.....	8
2.2	Produção de aglomerados de partículas de madeira	9
2.3	Revestimentos de baixa pressão nos aglomerados de partículas	11
2.4	Parâmetros que afetam a qualidade dos aglomerados de partículas.....	12
2.5	Defeitos encontrados na superfície dos aglomerados de partículas.....	14
3	Materiais e Métodos	17
3.1	Análise das amostras	17
3.1.1	Ensaios com o rugosímetro	17
3.1.2	Lupa com câmara acoplada.....	18
3.1.3	Digitalização	18
3.1.4	Microscópio eletrónico de varrimento	18
3.2	Ensaios de simulação de defeitos	19
3.2.1	Simulação dos defeitos por manipulação do papel decorativo	20
3.2.2	Simulação dos defeitos por manipulação do aglomerado	23
3.2.3	Prensagem do papel decorativo	24
4	Resultados e Discussão.....	25
4.1	Amostras de origem industrial.....	25
4.2	Amostras dos ensaios de simulação.....	32

4.2.1	Amostras associadas a manipulação do papel decorativo	32
4.2.2	Amostras associadas a manipulação do aglomerado	39
5	Conclusões	43
6	Avaliação do trabalho realizado.....	45
6.1	Objetivos Realizados	45
6.2	Limitações e trabalho futuro	45
6.3	Apreciação Final	46
7	Referências	47
	Apêndice A - Composição elementar das amostras industriais.....	51
	Apêndice B - Perfis primários das mossas	55
	Apêndice C - Composição elementar das amostras de simulação	59
	Apêndice D - Ensaio na câmara climática	63
	Apêndice E - Ensaio de manipulação do teor em resina	67
	Apêndice F - Ensaio associados ao pó de papel e ao pó de madeira	69

Lista de Figuras

<i>Figura 2.1-Imagem de um aglomerado de partículas de madeira.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3.1-Imagem do rugosímetro utilizado nestes estudos.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.2-Imagem da lupa utilizada para as análises.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.3-Imagem do equipamento de SEM utilizado nas análises.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3.4-Resumo dos ensaios de simulação realizados.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4.1-Imagens dos defeitos industriais estando representado na imagem A a amostra 1 e na imagem B a amostra 2.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.2-Imagens dos defeitos industriais estando representado na imagem A a amostra 5, na imagem B a amostra 9 e na imagem C a amostra 10.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.3-Perfil primário da zona com defeito na amostra 1 (linha vermelha) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha azul).</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4.4-A imagem A está associada aos ensaios da digitalização da superfície e a imagem B está associada as analises à lupa realizadas nas zonas com defeito.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4.5-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a uma zona sem defeito e a imagem B a uma zona com defeito.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.6-Perfil primário da zona com defeito na amostra 2 (linha vermelha) comparativamente a uma zona sem defeito na amostra 3 (linha azul).</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.7-Imagens do defeito associado a amostra 2 analisado à lupa.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.8-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a uma zona sem defeito e a imagem B uma zona com defeito.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.9-Perfis primários das zonas com defeito (linha azul a amostra 8 e linha verde a amostra 10) comparativamente a zonas sem defeito (linha vermelha a amostra 8 e linha roxa a amostra 10).</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.10-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 5, a imagem B à amostra 6 e a imagem C à amostra 7.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.11-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 4, a B à amostra 8 e a C à amostra 9.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.12-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 10 e a imagem B à amostra 11.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.13-Imagens dos defeitos de simulação estando na A o defeito associado ao envelhecimento do papel, na B o defeito associado a diminuição do tempo de prensagem e na C o defeito associado a segunda condição do ensaio da manipulação do teor em resina.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.14-Perfis primários das amostras de envelhecimento do papel.</i>	<i>33</i>

<i>Figura 4.15-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard, a imagem B ao papel envelhecido 30 s e a imagem C ao papel envelhecido 60 s.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.16-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel envelhecido 90 s e a imagem B ao papel envelhecido 120 s.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.17-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a amostra de papel standard e a imagem B a do papel envelhecido durante 120 s.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.18-Perfis primários do papel standard (linha azul) comparativamente ao papel prensado 30 s (linha vermelha) e ao papel prensado 20 s (linha verde).</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.19-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard, a imagem B ao papel prensado durante 30 s e a imagem C ao papel prensado durante 20 s.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.20-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 3 (linha verde).</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.21-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 1 e imagem B à amostra 2.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.22-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 3 e a imagem B à amostra 7.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.23-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a amostra 1 e a imagem B a amostra 3.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4.24-Imagens dos defeitos de simulação estando na A o defeito associado a pulverização da água, na B o defeito da dispersão de ureia, na C a moessa na superfície e na D a presença de contaminantes na superfície.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4.25-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.26-Imagem à lupa de um local onde ocorreu a pulverização da água.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.27-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.28-Imagem à lupa de um local onde ocorreu a dispersão de ureia.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.29-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.30-Imagem à lupa do local da moessa.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.31-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.32-Imagem à lupa do local onde está o plástico.</i>	<i>42</i>
<i>Figura A.1-Imagem de SEM de uma zona sem defeito da amostra 1.</i>	<i>51</i>

<i>Figura A.2-Imagem de SEM de uma zona sem defeito da amostra 1.</i>	<i>51</i>
<i>Figura A.3-Imagem de SEM de uma zona com defeito da amostra 1.</i>	<i>52</i>
<i>Figura A.4-Imagem de SEM de uma zona sem defeito da amostra 3.</i>	<i>52</i>
<i>Figura A.5-Imagem de SEM de uma zona com defeito da amostra 2.</i>	<i>53</i>
<i>Figura B.1-Perfil primário da zona com defeito na amostra 4 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>55</i>
<i>Figura B.2-Perfil primário da zona com defeito na amostra 5 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>55</i>
<i>Figura B.3-Perfil primário da zona com defeito na amostra 6 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>56</i>
<i>Figura B.4-Perfil primário da zona com defeito na amostra 7 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>56</i>
<i>Figura B.5-Perfil primário da zona com defeito na amostra 9 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>57</i>
<i>Figura B.6-Perfil primário da zona com defeito na amostra 11 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).</i>	<i>57</i>
<i>Figura C.1-Imagem de SEM de papel standard com origem industrial.</i>	<i>59</i>
<i>Figura C.2-Imagem de SEM de papel standard com origem industrial.</i>	<i>59</i>
<i>Figura C.3-Imagem de SEM da amostra do papel envelhecido 120 s.</i>	<i>60</i>
<i>Figura C.4-Imagem de SEM da amostra 1 dos ensaios de manipulação do teor em resina.</i>	<i>61</i>
<i>Figura C.5-Imagem de SEM da amostra 3 dos ensaios de manipulação do teor em resina.</i>	<i>61</i>
<i>Figura D.1-Perfil primário do papel standard (linha verde) comparativamente com o do papel na câmara durante 1 h (linha azul) e com o papel na câmara 3 dias (linha vermelha).</i>	<i>63</i>
<i>Figura D.2-Imagens à lupa sendo que imagem A está associada ao papel standard, a imagem B à amostra que esteve na câmara 1 h e a imagem C à amostra que esteve na câmara 3 dias.</i>	<i>64</i>
<i>Figura D.3-Perfis primários das amostras colocadas na câmara climática a uma humidade relativa de 85 %.</i>	<i>65</i>
<i>Figura D.4-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard e a imagem B ao papel que esteve na câmara climática durante 1 h.</i>	<i>65</i>
<i>Figura D.5-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel que esteve na câmara climática durante 2 h e a imagem B ao papel que esteve na câmara 4 dias.</i>	<i>65</i>
<i>Figura E.1-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 2 (linha verde).</i>	<i>67</i>

<i>Figura E.2-Perfis primários da amostra padrão 1(linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 4 (linha verde).....</i>	<i>67</i>
<i>Figura E.3-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 7 (linha verde).....</i>	<i>68</i>
<i>Figura E.4-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 8 (linha verde).....</i>	<i>68</i>
<i>Figura E.5-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 4 e a imagem B à amostra 8.</i>	<i>68</i>
<i>Figura F.1-Perfis primários do papel standard (linha azul) comparativamente as amostras com pó de papel na superfície (linha vermelha) e pó de madeira na superfície (linha verde).....</i>	<i>69</i>
<i>Figura F.2-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard e a imagem B à amostra com pó de papel na superfície.</i>	<i>70</i>
<i>Figura F.3-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard e a imagem B à amostra com pó de madeira na superfície.</i>	<i>70</i>

Lista de Tabelas

<i>Tabela 3.1-Formulação da resina de impregnação para o 1º banho.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 3.2-Formulação da resina de impregnação para o 2º banho.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 3.3-Valores padrão do teor em resina do papel impregnado.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 4.1-Valores de B-stage e VC dos ensaios de envelhecimento do papel.</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 4.2-Valores do teor em resina, B-stage e VC das amostras associadas à primeira condição testada.</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 4.3-Valores do teor em resina, B-stage e VC das amostras associadas à segunda condição testada.</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 4.4-Valores do teor em resina, B-stage e VC das amostras associadas à terceira condição testada.</i>	<i>37</i>
<i>Tabela A.1-Composição química da zona analisada na Figura A.1.</i>	<i>51</i>
<i>Tabela A.2-Composição química da zona analisada na Figura A.2.</i>	<i>51</i>
<i>Tabela A.3-Composição química da zona analisada na Figura A.3.</i>	<i>52</i>
<i>Tabela A.4-Composição química da zona analisada na Figura A.4.</i>	<i>52</i>
<i>Tabela A.5-Composição química da zona analisada na Figura A.5.</i>	<i>53</i>
<i>Tabela C.1-Composição química da zona analisada na Figura C.1.</i>	<i>59</i>
<i>Tabela C.2-Composição química da zona analisada na Figura C.2.</i>	<i>59</i>
<i>Tabela C.3-Composição química da zona analisada na Figura C.3.</i>	<i>60</i>
<i>Tabela C.4-Composição química da zona analisada na Figura C.4.</i>	<i>61</i>
<i>Tabela C.5-Composição química da zona analisada na Figura C.5.</i>	<i>61</i>
<i>Tabela D.1-Valores de B-stage e VC associados a condição de umidade relativa de 45 %.</i>	<i>63</i>
<i>Tabela D.2-Valores de B-stage e VC associados a condição de umidade relativa de 85 %.</i>	<i>64</i>

Notação e Glossário

m_1	Massa do papel seco
m_2	Massa do papel após a 1ª secagem
m_3	Massa do papel após a 2ª secagem
m_4	Massa da rodela <i>standard</i>
m_5	Massa da rodela após o ensaio de teor de voláteis
m_6	Massa da rodela após o ensaio de <i>B-stage</i>

Lista de Siglas

PB	<i>Particleboard</i> -Aglomerado de partículas de madeira
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> -Aglomerado de fibras obtido por via seca
OSB	<i>Oriented Strand Board</i> -Aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas
UF	Ureia-Formaldeído
MUF	Melamina-Ureia-Formaldeído
PF	Fenol-Formaldeído
pMDI	<i>Polymeric Diisocyanate</i> -Poliisocianatos
MF	Melamina-Formaldeído
MDI	<i>Methylene diphenyl diisocyanate</i> -Diisocianato de metileno-4,4'-difenileno
SEM	<i>Scanning electron microscope</i> -Microscopia eletrônica de varrimento
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> -Policloreto de vinilo
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> -Espectroscopia dispersiva de energia
VC	Teor de voláteis
RC	Teor em resina
RC _{final}	Teor em resina do 2º banho
RC ₁	Teor em resina do 1º banho

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

A origem dos painéis derivados de madeira é muitas vezes associada a necessidade de encontrar novas soluções devido ao aumento do preço da madeira maciça. Os gestores dos recursos florestais, na tentativa de os gerirem de forma mais responsável, tentaram encontrar soluções que empregassem a madeira não aproveitada, como era o caso dos troncos tortos e finos. Os compósitos de madeira foram certamente uma resposta, pois além de aproveitarem madeira que é rejeitada para outro tipo de aplicações podem também incluir no seu processo produtivo subprodutos da primeira e segunda transformação da madeira e madeira reciclada.[1] Podem-se distinguir vários tipos de compósitos de madeira, tais como, os painéis de aglomerado de partículas de madeira (PB, *Particleboard*), aglomerado de fibras obtido por via seca (MDF, *Medium Density Fiberboard*), aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas (OSB, *Oriented Strand Board*), aglomerado de fibras duro (*Hardboard*), o contraplacado (*Plywood*) e um conjunto variado de laminados.[2], [3]

Neste projeto, optou-se pelo estudo dos painéis de aglomerados de partículas de madeira. De forma geral, o aglomerado de partículas constitui todas as placas de derivados de madeira, fabricadas sob pressão e calor a partir de partículas de madeira (lascas de madeira, estilha, aparas, serradura e similares) e/ou outros materiais lenhocelulósicos em forma de partícula (aparas de linho ou cânhamo, fragmentos de bagaço e similares) com adição de uma cola.[4] Dos agentes adesivos destaca-se o uso das resinas de ureia-formaldeído (UF) e melamina-ureia-formaldeído (MUF). Apesar de menos frequente, também se podem utilizar as resinas de fenol-formaldeído (PF) e os poliisocianatos (pMDI, *Polymeric Diisocyanate*).[5]

Os aglomerados de partículas de madeira foram produzidos pela primeira vez na Alemanha em 1887, por *Hubbard*. A primeira versão deste material era constituída por pó de madeira que era unido por uma cola, com base em albumina, sendo que o conjunto era posteriormente corado sob pressão e temperatura. Em 1889, *Kramer* obteve a primeira patente de um processo produtivo deste tipo de material. Nos Estados Unidos, em 1918, *Beckmann* produziu um painel multicamadas que no núcleo era constituído por pó de madeira e nas camadas externas era constituído por contraplacado. Apesar dos desenvolvimentos que foram ocorrendo, só em 1935, nos Estados Unidos, se iniciou a produção industrial dos aglomerados de partículas. Durante a Segunda Guerra Mundial, a produção de resinas sintéticas teve um desenvolvimento significativo o que permitiu pela primeira vez testar a produção industrial de aglomerados de partículas utilizando resinas sintéticas. A empresa *Torfit* entre 1938 e 1940, adquiriu duas patentes para a produção de PB inserindo as resinas sintéticas no seu processo

industrial. Nestas patentes, as resinas líquidas eram adicionadas às partículas por pulverização e a mistura era posteriormente prensada a quente. *Kreibaum* iniciou a produção de painéis de aglomerado de madeira que sofriam prensagem a quente em 1947.[6]

A utilização destes materiais relativamente aos constituídos por madeira maciça tem algumas vantagens. A primeira vantagem é o baixo custo relativamente a madeira maciça. Para além disso, este tipo de materiais como incorpora materiais reciclados permite prolongar o ciclo de vida da madeira e atrasar as emissões de CO₂ que provêm da queima desta no final da sua vida útil. Outro benefício a destacar é a não existência de limitações dimensionais associadas a madeira maciça. Na produção dos aglomerados de partículas são adicionados agentes que aumentam a resistência à humidade e ao fogo e assim apresentam melhores propriedades dos que os materiais de madeira maciça.[5]

O aglomerado de partículas continua a ser uma tendência a nível de mercado, sendo que mantém este lugar devido ao baixo preço da matéria prima e do produto em si, por exemplo, comparativamente a materiais como o MDF. [6] Em 2017, na Europa existia uma capacidade de produção deste material de 51 659 000 m³. [7]. Uma das características mais importantes do PB, é a qualidade da sua superfície para que possa ser revestida com papel decorativo impregnado com resina melamínica, que irá adicionar valor comercial ao produto. Nesse sentido, é importante realizar um estudo sobre os defeitos e as condições que provocam a falta da qualidade da superfície do aglomerado de partículas. A EuroResinas - Indústrias Químicas S.A. é uma indústria que se dedica ao fabrico de resinas sintéticas, formaldeído, papel impregnado com resina melamínica e papel impregnado com resina fenólica. Por fazer parte das indústrias que estão associadas ao processo produtivo do aglomerado de partículas é de interesse da empresa que se realize um estudo sobre a qualidade da superfície do PB.

Os objetivos do trabalho em questão, foram primeiramente a identificação dos ensaios que permitem estudar a qualidade da superfície, de seguida, fazer uma recolha alargada dos defeitos que se podem encontrar na superfície do aglomerado e posteriormente encontrar as causas para os defeitos identificados.

1.2 Apresentação da Empresa

A Sonae Arauco é uma empresa que se dedica a produção de painéis derivados de madeira, destacando-se como uma das maiores produtoras mundiais. Procura desenvolver soluções derivadas de madeira que irão ser aplicadas sobretudo no setor mobiliário e de design de interiores.[8]

A empresa possui 23 unidades industriais e comerciais que estão localizadas em 9 países, sendo que um desses países é Portugal. No total, possui uma capacidade de produção de 4 185 milhões de m³ que permite atingir um volume de negócios de 800 milhões de euros.[8]

A Sonae Arauco nasceu de uma *joint-venture* entre duas empresas: a Sonae Indústria e a Arauco. A Sonae Indústria foi criada em 1959 e é uma multinacional que produz painéis de derivados de madeira e laminados de alta pressão. A Arauco foi criada em 1970 e tem na sua génese a produção e gestão de recursos florestais renováveis, estando localizada no Chile. Em 2016, estas empresas estabeleceram uma parceria, que tem como objetivo criar soluções inspiradas na madeira e que engloba todas as unidades de produção de painéis derivados de madeira, químicos e papel impregnado na Europa e África do Sul. [8]

O trabalho em análise, foi desenvolvido na EuroResinas - Indústrias Químicas S.A., empresa pertencente ao grupo Sonae Arauco. Esta empresa dedica-se ao fabrico de resinas sintéticas, formaldeído e papel impregnado. [9]

1.3 Contributos da autora para o Trabalho

Uma das características mais importantes no aglomerado de partículas é a qualidade da sua superfície, que permite que esta seja revestida com papel decorativo aumentando, assim o valor comercial do produto final. É, portanto, de toda a importância que se realize um estudo sobre os defeitos que são comuns existir na superfície do aglomerado e quais as causas que levam a falta de qualidade do produto final.

A primeira parte do trabalho envolveu a análise das amostras com defeitos de origem industrial, que foram recolhidas numa das empresas do grupo, localizada em Oliveira do Hospital. Os ensaios com o rugosímetro e as análises à lupa foram executadas sem apoio externo. As análises de microscopia eletrónica de varrimento foram realizadas pela Beatriz Nogueira e o programa de *Matlab* usado na manipulação das imagens de digitalização foi escrito pelo professor Jorge Martins.

De seguida, realizaram-se ensaios laboratoriais onde se provocaram defeitos, sendo que as condições testadas foram baseadas na pesquisa realizada e nos resultados obtidos das análises dos defeitos com origem industrial. Todas as condições testadas foram executadas sem apoio externo.

Posteriormente, fizeram-se os mesmos ensaios nos defeitos provocados laboratorialmente na perspetiva de avaliar se foi obtido alguma replicabilidade dos defeitos industriais. Novamente, os ensaios de microscopia eletrónica de varrimento realizados nestas amostras foram executados pela Beatriz Nogueira. Todos os outros testes realizados foram executados sem apoio externo.

1.4 Organização da Tese

Esta tese encontra-se dividida essencialmente em 6 partes fundamentais: Introdução, Contexto e Estado da arte, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões e Avaliação do trabalho realizado.

Na Introdução procura-se enquadrar os aglomerados de partículas na indústria dos compósitos de madeira. No capítulo do Contexto e Estado da Arte descreve-se as matérias primas utilizadas para a produção dos aglomerados e avalia-se as várias etapas do processo produtivo. Para além disso, analisa-se o processo de revestimento com papel decorativo e discute-se por fim as variáveis que afetam a qualidade dos aglomerados e da sua superfície referindo os tipos de defeitos que já estão descritos na bibliografia.

Nos Materiais e Métodos descreve-se as técnicas utilizadas para o estudo das superfícies dos aglomerados e também as técnicas utilizadas para os ensaios laboratoriais que tiveram como objetivo a tentativa de replicação dos defeitos identificados em amostras industriais.

O capítulo que apresenta uma importância relevante é o capítulo dos Resultados e Discussão. No capítulo em questão, apresenta-se os principais resultados dos ensaios realizados tanto nos defeitos de origem industrial como nos defeitos provocados no laboratório.

Nas Conclusões, avalia-se quais as melhores técnicas de análise da superfície do aglomerado, descreve-se todos os defeitos que foram catalogados ao longo do trabalho e verifica-se em quais foi possível concluir as causas que levam aos defeitos em questão.

No último capítulo, avalia-se o cumprimento dos objetivos inicialmente traçados e faz-se uma reflexão sobre o trabalho realizado ao longo da Dissertação.

2 Contexto e Estado da Arte

Um aglomerado de partículas, como já anteriormente referido, constitui todas as placas de derivados de madeira, fabricadas sob pressão e calor a partir de partículas de madeira (lascas de madeira, estilha, aparas, serradura e similares) e/ou outros materiais lenhocelulósicos em forma de partícula (aparas de linho ou cânhamo, fragmentos de bagaço e similares) com adição de uma cola.[4], [10], [11] Este tipo de painéis é constituído tipicamente por três camadas: 2 camadas exteriores que são compostas por partículas com uma distribuição granulométrica fina e uma camada interna composta por partículas maiores. A presença das partículas finas permite a criação de uma superfície macia que facilita o revestimento numa fase posterior do acabamento, já a presença de partículas grosseiras no núcleo é importante para potenciar as propriedades físico-mecânicas dos painéis como a resistência à flexão e a resistência à tração.[5], [12] É também possível a existência de painéis com uma configuração homogénea ou multicamadas.[12] Na Figura 2.1 está presente uma imagem de um aglomerado de partículas.[13]

Este tipo de painel tem uma massa volúmica típica de 680-700 kg m⁻³. [2] Em Portugal, as especificações deste tipo de material estão presentes na Norma Portuguesa NP EN 312:2017.[14] A norma classifica 7 tipos de aglomerado de madeira consoante as suas aplicações:

- P1: Placas de utilização geral utilizadas em ambiente seco;
- P2: Placas para aplicações interiores (incluindo mobiliário) utilizadas em ambiente seco;
- P3: Placas para fins não estruturais utilizadas em ambiente húmido;
- P4: Placas para fins estruturais em ambiente seco;
- P5: Placas para fins estruturais em ambiente húmido;
- P6: Placas para fins estruturais especiais utilizadas em ambiente seco;
- P7: Placas para fins estruturais especiais utilizadas em ambiente húmido.

De forma geral, consegue-se perceber pelos tipos de PB classificados na norma que a utilização destes materiais se concentra na área do mobiliário, sendo que normalmente para estas aplicações é utilizado revestido com papel decorativo ou folha de madeira. Apesar disso, é também utilizado nas áreas da construção civil.[5], [14]



Figura 2.1-Imagem de um aglomerado de partículas de madeira.

2.1 Matérias-primas

2.1.1 Madeira e materiais lenhocelulósicos

De todo o material lenhocelulósico utilizado na produção do aglomerado de partículas mundialmente, 95 % desse é madeira. O restante é essencialmente constituído por fragmentos de bagaço e aparas de linho. A madeira pode surgir de várias fontes, distinguindo-se essencialmente três tipos.[1]

A madeira de rolaria surge do abate de árvores e tende a produzir o material com mais qualidade. Em contrapartida, este tipo de material tem um custo elevado o que leva a que outras alternativas sejam inseridas no processo produtivo.[1], [15]

Neste tipo de indústria são também utilizados resíduos de madeira. Os resíduos de madeira podem ter origem florestal, sendo que nesse caso costumam ser constituídos por material das copas das árvores e galhos. São também utilizados resíduos da primeira transformação, que são constituídos por costaneiros, retestos e estilha. É igualmente comum a utilização de resíduos da segunda transformação, tal como aparas de madeira e serrim, que para além de não conterem casca da árvore, também não possuem um teor de água tão elevado como os resíduos da primeira transformação, o que permite poupanças na etapa de secagem. [1], [15]

O uso de material reciclado é uma tendência devido ao seu preço baixo e pouco impacto ambiental. Este é obtido de subprodutos da indústria do mobiliário, paletes e demolições. O problema desta fonte de matéria-prima é que é comum a existência de contaminantes. O material recolhido contém material mineral, plástico, papel e materiais ferrosos que irão comprometer a qualidade do produto final.[1], [16], [17]

2.1.2 Adesivos sintéticos

A função dos adesivos sintéticos é provocar a união das partículas de madeira e dos outros materiais lenhocelulósicos. Grande parte dos aglomerados de partículas são produzidos através

de resinas sintéticas à base de formaldeído. Deste tipo de resinas, podem-se destacar as resinas de ureia-formaldeído e as melamina-ureia-formaldeído. As resinas à base de formaldeído são termicamente ativadas e formam moléculas gigantes durante a policondensação através das ligações que se estabelecem entre os monómeros originando uma estrutura reticulada.[5] O custo das resinas normalmente quantifica 15 a 25 % dos custos totais de produção dos painéis derivados de madeira.[1] Seguidamente, vão-se analisar as resinas que costumam ser mais aplicadas em aglomerados de partículas de madeira.

As **resinas de ureia-formaldeído**, que pertencem ao grupo das aminoresinas, são constituídas sobretudo por oligómeros lineares ou ramificados e moléculas poliméricas. [15]-[18] As resinas UF são produzidas a partir de dois monómeros: a ureia e o formaldeído, que são componentes que derivam do gás natural.[19] No processo convencional são produzidas em três fases: metilolação ou adição alcalina, condensação em meio ácido e por fim, ocorre a adição final da ureia que pretende diminuir a razão molar F/U.[20] Durante a sua produção, o processo é acompanhado por viscosidade sendo que, quando se atinge a viscosidade pretendida, a reação é parada através da neutralização com uma base. De forma a reativar e completar o processo de reticulação é necessário a adição de um ácido e um aumento da temperatura, este processo é denominado por cura e ocorre durante a prensagem. Após a cura, as resinas ficam reticuladas, ou seja formam um rede insolúvel, termorresistente e tridimensional.[19] As vantagens desta resina são o baixo custo, a homogeneidade e solubilidade em água e o muito conhecimento associado ao processo industrial que gera este produto. [1], [21]-[23] Relativamente as desvantagens destaca-se a falta de resistência à água dos painéis que são produzidos com esta resina e a libertação de formaldeído, processo que pode ocorrer devido à hidrólise por ação da humidade.[1], [15], [24], [25] Devido a falta de resistência dos painéis à água, os que são constituídos por esta resina só devem ser utilizados para aplicações interiores.[21]

As **resinas de melamina-ureia-formaldeído**, que pertencem também ao grupo das aminoresinas, além de incorporarem ureia e formaldeído incorporam melamina.[26] A adição de melamina fornece grupos aminados sem introduzir grupos hidrolisáveis na rede. [15] O processo produtivo da resina melamínica é semelhante ao da resina de ureia-formaldeído e consiste nas seguintes etapas: metilolação alcalina seguida de uma condensação ácida, sendo também possível a produção somente pelo processo alcalino. A produção desta resina também pode ser conseguida pela mistura da resina ureia-formaldeído com a resina melamina-formaldeído (MF) ou na adição posterior da melamina. [26] Devido ao elevado custo, a melamina é utilizada em pequenas quantidades sendo que o usual é não ultrapassar os 25 %.[15] Relativamente as resinas UF, este tipo de resinas possui mais ligações carbono-hidrogênio e por essa razão apresenta mais estabilidade em ambientes húmidos, por consequência uma menor

emissão de formaldeído. Como desvantagem, pode-se destacar o custo superior relativamente as resinas UF.[15]

As **resinas fenol-formaldeído** foram os primeiros polímeros sintéticos a serem desenvolvidos. Em termos químicos, diferenciam-se das restantes pela presença de um grupo hidroxilo que está ligado a um anel benzênico que vai reagir com o formaldeído. [15] Relativamente a síntese, o primeiro passo é a hidroximetilação, etapa onde o fenol reage com uma a três moléculas de formaldeído. Seguidamente, ocorre a condensação, onde se formam moléculas de maior dimensão. Este tipo de resinas possui uma baixa reatividade e uma viscosidade alta, pelo que é corrente a adição de compostos, como resorcinol, para aumentar a reatividade e ureia para diminuir o preço e viscosidade. [5], [12] Tipicamente, esta tipologia de resina é usada em materiais com aplicações externas devido a sua resistência à água e a sua alta coesão após a cura. [10], [21] Estas resinas têm como pontos negativos a coloração escura da resina, o baixo teor em sólidos e são necessárias altas temperaturas e prolongados tempos de prensagem. [1], [5], [10], [15], [24]

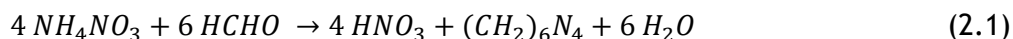
Os **poliisocianatos**, que fazem parte do grupo dos poliuretanos, são utilizados há mais de duas décadas na produção de PB. Apesar disso o seu consumo é ainda reduzido, sendo que é maioritariamente aplicado para material que deve ser resistente à humidade.[15] A produção desta substância consiste em duas etapas, em que na primeira o excesso de anilina, reage com o formaldeído em meio ácido, utilizando ácido clorídrico como catalisador, formando moléculas lineares e na segunda formam-se isómeros MDI (*Methylene diphenyl diisocynate* – Diisocianato de metileno-4,4'-difenileno) e pMDI por reação com fosgêneo.[5] Como vantagens destaca-se a capacidade de adesão até em madeira difícil de aderir, elevada resistência mecânica e inferior tempo de prensagem. Como inconvenientes, referencia-se o seu elevado preço, toxicidade e possibilidade de colagem aos pratos da prensa, o que obriga à utilização de um aditivo desmoldante.[15]

2.1.3 Aditivos

Tipicamente, o sistema adesivo que é pulverizado nas partículas de madeira aquando da produção do aglomerado não é só constituído por resina. Estas formulações são constituídas por um conjunto variado de componentes, tais como, agentes endurecedores, parafinas e água.[5]

O agente endurecedor, também denominado como catalisador, atua como um promotor do meio ácido ou alcalino, dependendo do tipo de resina em causa.[5] Os catalisadores podem fazer parte do agente adesivo ou serem simplesmente sais que são adicionados posteriormente à adição da resina. Os catalisadores que fazem parte do agente adesivo são denominados como latentes, pois só são ativados pelo calor.[12] Como catalisadores latentes é comum, no caso das resinas UF e MUF, utilizar-se substâncias como o cloreto de amónio, sulfato de amónio e

nitrato de amónio. No caso do nitrato de amónio, esta substância reage com o formaldeído livre formando ácido nítrico o que provoca a diminuição do pH.[19]



Nas resinas PF utiliza-se o hidróxido de sódio, promotor do meio básico.[5] Uma forma rápida de também curar as resinas fenólicas é utilizar o resorcinol, mas este agente é dispendioso.[12]

A emulsão de parafina tem como objetivo conferir aos produtos maior resistência à penetração de água, ou seja, funciona como um retardante da absorção da água, impedindo assim, a entrada da água por capilaridade.[5], [15], [21], [27]

É também adicionada água na formulação das camadas externas, pois um teor de água elevado permite um maior controlo na espessura do colchão através do fecho rápido da prensa. À medida que o colchão é aquecido a água transforma-se em vapor que migra para as zonas mais frias, ou seja, para o interior. Existe também um fluxo que provém do centro para os bordos expostos da periferia. Quando o calor penetra no colchão, a vaporização da água provoca a plastificação das partículas. A plastificação ocorre primeiro nas faces e a massa volúmica é superior nessa secção do painel.[10]

Os retardantes de fogo, que são aplicados ao material como revestimento ou então impregnados na madeira, são muito importantes porque reduzem a inflamabilidade da madeira e seus derivados. Estes criam uma barreira à propagação da chama ou geram gases não combustíveis. Estas substâncias contêm sílica e outros elementos químicos, sendo que os mais vulgarmente utilizados são o fosfato de amónio, sulfato de amónio e o cloreto de zinco. [15]

2.2 Produção de aglomerados de partículas de madeira

O processo de produção do aglomerado de partículas de madeira é constituído por várias etapas.

Primeiramente, é realizada a **preparação da estilha**, onde a madeira é dividida por tamanho, teor de água e espécie. [12] Em Portugal, não existe uma grande variedade de espécies utilizadas sendo que o consumo se restringe ao eucalipto e pinheiro bravo.[15] Nesta etapa, após a separação da matéria prima, esta irá passar por um variado conjunto de máquinas de trituração que vão transformá-la em estilha. Para o material que provém da rolaria, os troncos são primeiro alimentados a um descascador para a remoção da casca. Após esta etapa do processo o material produzido tem as dimensões usadas pela indústria da pasta do papel. Antes do novo passo de diminuição de tamanho, realiza-se um processo de crivagem e remoção de contaminantes. [1], [5], [10], [12], [27]

Posteriormente é realizada a **preparação das partículas**, onde a estilha é alimentada a um conjunto de máquinas de trituração onde se produzem partículas de menor dimensão. Como

já referido acima, realiza-se um processo de crivagem e remoção de contaminantes a cada nova etapa de redução de tamanho. Como a presença de pó da madeira na constituição do aglomerado enfraquece as suas propriedades mecânicas e a qualidade da superfície, no final desta etapa, as partículas mais finas seguem para aproveitamento energético, as partículas sobredimensionadas voltam para o início da etapa e as partículas dentro das especificações seguem para a próxima etapa da produção.[1], [5], [12], [27]

De seguida, ocorre a etapa de **secagem** onde o material deverá ser diferenciado entre húmido (madeira verde) e seco (madeira reciclada). A diferenciação deve-se a que o material húmido deve ser submetido a temperaturas superiores. Em termos industriais, este tipo de procedimento realiza-se em cilindros rotativos em que as partículas são deslocadas numa corrente de ar quente e após um certo tempo de retenção são removidas de circulação por ciclones. A temperatura de trabalho dos cilindros rotativos deverá ser adaptada ao teor de água do material a tratar, do caudal mássico das partículas, da velocidade do ar quente e do tempo de retenção. No final desta etapa, o material deverá possuir um teor de humidade entre 2 % e 8 %, de acordo com o sistema adesivo a utilizar.[1], [5], [12], [27]

Posteriormente, ocorre a **separação granulométrica**, etapa que consiste na classificação das partículas. Esta é normalmente realizada após a secagem para que seja mais precisa, pois é difícil trabalhar com material molhado. Contudo, existem alguns produtores que a realizam antes da secagem para que se poupe energia nessa etapa, pois o material não conforme é removido e não é seco. Este tipo de seleção é normalmente realizado em equipamentos como os peneiros mecânicos e classificadores de fluxo de ar. Nos peneiros, o processo consiste em fazer passar as partículas numa série de redes que vão ficando com as partículas com o tamanho desejado em cada camada e descartando o restante. Já os classificadores de fluxo de ar, fazem as partículas circular em contracorrente com o fluxo do ar, sendo que as mais pesadas depositam e as restantes acabam por ser transportadas pelo fluxo. [1], [5], [12]

Seguidamente, ocorre a etapa da **encolagem** onde as partículas de madeira são pulverizadas com o agente adesivo. Como já anteriormente referido, a constituição típica de um agente adesivo é a resina, um agente endurecedor, a emulsão de parafina e a água. Este procedimento é realizado industrialmente numa encoladora onde o pormenor importante está na dispersão do agente adesivo em cima das partículas de madeira em forma de *spray*. O teor em resina, depende do tipo de resina em questão, mas deve rondar de forma geral os 4 % a 10 %. É de realçar que como os painéis em questão são normalmente constituídos por várias camadas, o processo de encolagem é realizado separadamente para as camadas externas e internas, sendo que a camada externa é normalmente preparada com um agente adesivo com mais resina.[1], [5], [12], [27]

A etapa seguinte consiste na **formação**, onde as partículas são colocadas em formadoras que efetuam um doseamento sobre uma tela em movimento. Para que se obtenham painéis com propriedades uniformes, as formadoras devem garantir a deposição de um caudal de partículas constante em massa e volume sobre a tela, que devem estar distribuídas de forma uniforme pela largura do colchão. [1], [5], [12], [27]

Antes da etapa fulcral do processo, ocorre a **pré-prensagem** que tem como objetivo aumentar a compactação e reduzir a espessura. Esta etapa é realizada a frio e pretende-se com esta que a seguinte seja mais rápida, porque maior parte do ar já foi removido do colchão. [1], [5], [12]

De seguida, o colchão de partículas sofre um processo de **prensagem a quente** numa prensa contínua, em que os perfis de temperatura e pressão são variáveis ao longo do comprimento da prensa. A primeira fase da prensagem consiste sobretudo numa deformação mecânica, de seguida ocorre uma fase de reação química onde se dá a adesão entre as partículas de madeira e por fim ocorre a libertação de calor e a descompressão. A reação de cura é promovida pela presença da água nas camadas externas, pois esta água transforma-se em vapor no contacto das partículas húmidas com os pratos quentes da prensa. Para que o processo de prensagem não tenha uma extensão demasiado grande é adicionado um catalisador à mistura durante a encolagem. Apesar de acima se descrever a prensagem em contínuo está também pode ser realizada em descontínuo. A típica temperatura a que ocorre este processo varia entre os 200 °C e os 250 °C. [1], [5], [12], [27]

Após o painel estar totalmente consolidado, as próximas etapas consistem na **deteção de defeitos** e finalização do produto dando-lhe os **acabamentos finais**. Primeiramente, o painel é cortado para as dimensões pretendidas através de serras. De seguida, são conferidos se os parâmetros de qualidade estão dentro dos conformes, os que não estão são desprezados. Após o arrefecimento, as superfícies são lixadas para calibrar as espessuras dos painéis. [1], [5], [12], [27]

2.3 Revestimentos de baixa pressão nos aglomerados de partículas de madeira

É possível distinguir duas classes de materiais de revestimento usados nos aglomerados de partículas, os revestimentos líquidos e os revestimentos sólidos.[28] Relativamente a classe dos decorativos sólidos, podem-se destacar o papel impregnado com resina melamínica, papel *kraft*, policloreto de vinilo (PVC, *Polyvinyl chloride*) e a folha de madeira natural. [28] A aplicação do revestimento para além da função estética pode ter outros objetivos, tais como, diminuir a libertação de formaldeído pelas faces, suprimir a absorção da água, promover uma maior resistência a agentes abrasivos e aumentar o valor comercial do produto.[29]

O trabalho em questão vai-se focar no estudo dos laminados de baixa pressão, que consistem no revestimento da superfície com papel decorativo que sofreu uma impregnação com resina melamínica. Primeiramente, o papel decorativo é impregnado com a resina, onde ocorre a expulsão do ar do papel e a saturação das fibras com a resina. Após esta etapa, ocorre uma fase de secagem para que a humidade do material diminua e é aqui que vai ocorrer a pré-polimerização da resina. Na etapa de revestimento, o papel passa por dois rolos ranhurados onde se vai ajustar a quantidade de resina presente no decorativo. Posteriormente, ocorre uma nova etapa de secagem. De seguida, o papel decorativo necessita de ser arrefecido, o que ocorre numa estufa onde existe um controlo permanente da temperatura. O corte do papel para o tamanho pretendido é efetuado em guilhotinas rotativas. Por fim, é necessário aplicar o revestimento melamínico no substrato, sendo que a etapa se inicia com a entrada da primeira folha de papel com a face voltada para baixo, de seguida entra o painel e posteriormente entra uma folha de papel com a face virada para cima. As duas folhas de papel são mantidas na posição correta por barras emissoras de cargas estáticas. Ocorre então a prensagem a baixa pressão, 39 bar, que é realizada entre os 195 °C e os 210 °C. Após esta etapa, resta a etapa de finalização e verificação da qualidade do produto final.[29], [30]

2.4 Parâmetros que afetam a qualidade dos aglomerados de partículas

Existem um conjunto de parâmetros que afetam diretamente as propriedades e a qualidade dos painéis de PB.[12]

De todas as variáveis que afetam a qualidade dos aglomerados de partículas, as **espécies** de madeira e tipo de madeira (subprodutos ou madeira reciclada) utilizadas são uma das mais relevantes. As espécies utilizadas irão condicionar na generalidade todo o processo produtivo, afetando a massa volúmica que o painel vai ter, o tipo de partículas que podem ser geradas de forma económica, se tem que existir um controlo mais rigoroso do teor de água, entre outros parâmetros que se não forem avaliados podem provocar a falta de qualidade do produto final. Relativamente aos fatores que levam a variabilidade do produto final consoante o tipo de espécies utilizadas, primeiramente pode ser destacada a massa volúmica da madeira. Madeiras com uma massa volúmica baixa tendem a produzir um produto final que se enquadra dentro das especificações pretendidas. As espécies com uma massa volúmica mais alta podem ser utilizadas em produtos com uma massa volúmica superior ou misturar este material com materiais de mais baixa massa volúmica. Outro parâmetro que é influenciado pelo tipo de espécie é a acidez da madeira, que é medida pelo pH e pela capacidade tampão. Para que a cura da resina ocorra de uma forma apropriada, especialmente para resinas do tipo UF, é importante que um intervalo de acidez do colchão seja cumprido. As espécies utilizadas tendem a ser normalmente mais ácidas, pelo que necessitam de menos uso de catalisador. A capacidade tampão mede a capacidade da madeira de manter o pH inalterado face a variações do pH do

meio. Normalmente, espécies com uma elevada capacidade tampão tendem a exigir uma grande quantidade de catalisador para baixar o pH para o valor ótimo a que ocorre a cura da resina. Assim, tende-se a evitar a situação descrita acima. O teor de água do material também é algo a considerar, pois a utilização de material muito húmido vai provocar um alto consumo de energia para o secar, além de que poderá criar dificuldades e problemas nos equipamentos por entupimento. As partículas com elevado teor de água tendem a gerar partículas mais finas sendo que as partículas com mais baixo teor de água geram material mais grosseiro. Os extratáveis, dependendo da espécie, podem representar 5 % a 30 % do total da composição da madeira e a utilização de espécies com maior percentagem podem causar um variado conjunto de problemas no produto final. Desses problemas podem-se destacar um maior consumo de resina e tempo de cura, pouca resistência à água do produto final e problemas com delaminação aquando da prensagem. Entre o material recebido, é comum existir material exógeno, como casca de madeira e minerais que entram dentro do processo produtivo e provocam descoloração, fraca resistência a água e problemas na qualidade do revestimento nos painéis de PB. A qualidade da matéria-prima também vai variar consoante o local de crescimento da madeira recolhida.[12], [22], [29]

As **resinas** são uma das variáveis mais importantes no processo produtivo dos painéis de PB, até porque é a parte mais representativa do custo do processo. As resinas mais utilizadas são as resinas UF porque possuem um menor custo, são de fácil manuseamento e rápida cura na prensa. A quantidade de resina utilizada está diretamente ligada ao melhoramento das propriedades do painel, sendo que o seu uso tem que ser restringido devido ao seu preço elevado.[12], [29], [31]-[34]

Relativamente aos **aditivos**, existe uma grande variedade que podem ser adicionados para melhorar as características dos painéis de PB. O aditivo mais utilizado é a parafina e é essencial para melhorar as propriedades de resistência à água, assim é aplicada numa quantidade superior em produtos para exterior. Outro tipo de aditivos a destacar são os retardantes do fogo.[12], [22], [29]

A **distribuição do teor de água pela espessura** será também um parâmetro a considerar. Se as camadas superficiais possuírem uma humidade muito superior relativamente à humidade presente na camada interior, as faces dos painéis vão ficar menos densificadas do que o núcleo. Este fenómeno ocorre devido à mais rápida transferência de calor para o interior do colchão.[10], [12], [33]

O **perfil de densidades** surge, como já anteriormente referido, pelas diferenças de humidade entre as camadas superficiais e o núcleo do painel o que leva a que, na generalidade, os painéis tenham na superfície uma densidade superior ao do seu núcleo. Devido à elevada temperatura a que este tipo de material é prensado, a humidade transforma-se em vapor e

plastifica a madeira permitindo a rápida consolidação da superfície. O vapor só atinge as mesmas condições algum tempo depois no núcleo e quando este material plastifica, o material na superfície já está consolidado e a resina curada. O perfil de densidade vai estar relacionado com o sucesso das operações de acabamento do material. [12], [34]

Outra variável importante para a qualidade dos aglomerados de partículas, é a presença de **camadas com diferentes tamanhos de partículas**. As camadas superficiais são usualmente constituídas por partículas mais finas, o que resulta numa superfície menos rugosa. Esta característica é extremamente importante, especialmente em materiais que irão ser revestidos.[12], [35]

É também de destacar a **distribuição espacial das partículas**, variável que tem uma tremenda influência nas propriedades mecânicas e dimensionais dos painéis.[12], [31]

De seguida, é também importante referir a importância da **massa volúmica dos painéis**. Um aumento da massa volúmica leva a consideráveis melhorias nas propriedades mecânicas deste material. Nos painéis de massa volúmica mais elevada, as partículas têm um maior contacto entre si e a resina é usada de forma mais efetiva. [12], [31]

Vários estudos têm sido realizados para avaliar a influência das **técnicas de acabamento** na qualidade da superfície dos aglomerados de partículas. Destes estudos foi possível concluir que as diferentes técnicas utilizadas para a preparação das superfícies irão afetar a qualidade da superfície e a possibilidade de executar o revestimento do material com qualidade.[11], [36]-[39] É também de destacar que foi identificado que alguns defeitos associados ao material em estudo surgem deste tipo de operações.[37]

Por fim, é também importante destacar que o próprio processo de **aplicação do revestimento** tem algumas variáveis que irão afetar a qualidade do produto final. Parâmetros como a gramagem do papel, o tipo de adesivo que é impregnado no papel decorativo e a quantidade de resina são variáveis que irão afetar a qualidade do aglomerado de partículas.[28], [30]

2.5 Defeitos encontrados na superfície dos aglomerados de partículas

Apesar do estudo dos defeitos neste tipo de materiais não estar muito desenvolvido, existem já identificadas algumas fontes de possíveis defeitos.

Primeiramente, é importante destacar que a própria matéria-prima poderá ser uma fonte de defeito já que quando se trata de madeira reciclada é comum existirem impurezas, tais como, plásticos, metais, papel, vidro, têxteis e pedras. A presença destes materiais irá afetar a qualidade do produto final.[16], [17]

Para além destes, outros tipos de defeitos estão associados ao PB revestido com papel decorativo. Está também referenciado a presença de bolhas na superfície do aglomerado, que estão descritas em normas de outros compósitos de madeira como empolas que são definidas como a uma falta de aderência que só ocorre naquele local. Outra tipologia de defeitos muitas vezes identificados são manchas e pontos brilhantes que corretamente deveriam ser descritos como descolorações, pois são locais que apresentam uma modificação da coloração natural que não está associada a uma perda de resistência. Para além disso, é comum também encontrar locais com cavidades que, de acordo com as normas de outros materiais, se devem referenciar como mossas pois são depressões locais. Para além disso, podem-se destacar a presença de marcas de lixagem e de deslocamento do papel o que leva a que nem toda a superfície esteja revestida. [40]-[44]

Para que este tipo de indústria possa crescer, mais do que desenvolver métodos para a deteção de defeitos é também importante que as causas dos defeitos estejam identificadas. Assim, o trabalho desenvolvido durante a dissertação consiste não só na identificação de defeitos, mas também na procura das causas que provocaram a falta de qualidade.

3 Materiais e Métodos

O trabalho em questão pretendeu avaliar o tipo de defeitos que estão presentes na superfície do aglomerado de partículas. No sentido de atingir os objetivos do trabalho, a primeira parte do trabalho consistiu na análise de amostras industriais de forma a estudar o tipo de defeitos que é comum encontrar à superfície. As amostras industriais eram constituídas por PB revestido com papel decorativo de vários tipos. De seguida, a segunda parte do trabalho consistiu na tentativa de replicação dos defeitos encontrados. Nestes ensaios foi utilizado PB com 16 mm de espessura e o papel decorativo utilizado foi um papel branco, de referência B111, com uma gramagem de 80 g m^{-2} . Por fim, as amostras produzidas laboratorialmente foram analisadas da mesma forma que as industriais de forma a procurar replicabilidade. Os ensaios usados para análise das amostras tal como as condições usadas nos ensaios de simulação são descritas seguidamente.

3.1 Análise das amostras

Na análise das amostras com origem industrial e posteriormente nas de simulação dos defeitos foram realizados um conjunto de ensaios que procuraram avaliar a tipologia dos defeitos em questão. Destes ensaios, os que apresentaram maior relevância foram as análises à lupa e os ensaios com o rugosímetro. Para além disso, foram realizados também em algumas amostras ensaios de microscopia eletrónica de varrimento (SEM, *Scanning electron microscope*) e de digitalização.

3.1.1 Ensaios com o rugosímetro

Nos ensaios em questão foi utilizado um rugosímetro da marca *Mitutoyo* modelo SJ 410. Com este instrumento foram recolhidos os perfis primários das zonas com defeito e sem defeito nos painéis em estudo. Neste trabalho, optou-se pelo uso dos perfis primários em detrimento dos de rugosidade pois estes apresentam de forma mais grosseira a geometria da superfície. Tendo em conta a variedade das geometrias avaliadas esta é forma ótima de avaliação dos defeitos.[45] O perfil primário é a conjugação do perfil de rugosidade mais o perfil de ondulação. Assim, o perfil de rugosidade é obtido pela aplicação de filtros que removem a ondulação do perfil. Por essa razão, o perfil de rugosidade representa as irregularidades mais finas na superfície do aglomerado o que não se adequa a todas as geometrias.[46] O instrumento usado nas experiências realizadas é apresentado na Figura 3.1. Para os ensaios realizados, o comprimento de amostra analisado foi de 8, 9,60 e 16 mm, adaptando-se ao tamanho do defeito em análise.



Figura 3.1-Imagem do rugosímetro utilizado nestes estudos.

3.1.2 Lupa com câmara acoplada

Os defeitos em análise foram observados à lupa para avaliar as características superficiais das áreas problemáticas. A lupa utilizada está acoplada a uma câmara sendo que o programa, *Optika Vision Lite*, permite a recolha de imagens do que está a ser observado. A imagem do equipamento utilizado está presente na Figura 3.2.

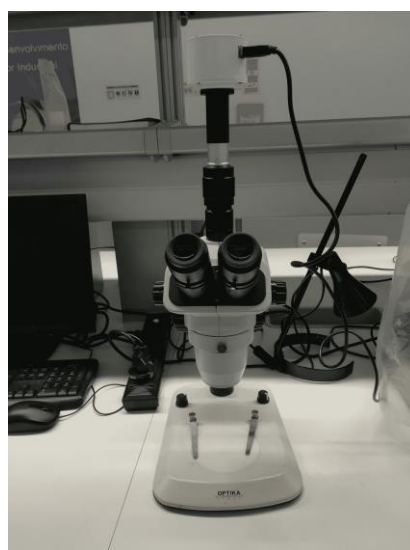


Figura 3.2-Imagem da lupa utilizada para as análises.

3.1.3 Digitalização

Este ensaio consistiu na utilização de um *scanner* para obter uma imagem da superfície em análise. Utilizando depois as capacidades do *Matlab* foi criado um programa que permite a manipulação da imagem para destacar as diferentes tonalidades. Com isto, foi possível evidenciar as zonas com defeito.

3.1.4 Microscópio eletrónico de varrimento

O presente equipamento permite a recolha de imagens da superfície dos aglomerados, sendo que para a recolha foi utilizado um *Phenom Pro XL*. A foto do equipamento está presente

na Figura 3.3. Para a recolha de dados sobre a composição elementar das amostras recorreu-se a Espectroscopia dispersiva de energia (EDS, *Energy Dispersive Spectroscopy*). As amostras, antes de serem testadas, foram cobertas com uma camada de ouro.[47]



Figura 3.3-Imagem do equipamento de SEM utilizado nas análises.

3.2 Ensaios de simulação de defeitos

Os ensaios de simulação pretenderam provocar defeitos na superfície do aglomerado de partículas. Relativamente aos defeitos que foram reproduzidos laboratorialmente podem-se distinguir dois tipos, defeitos associados ao revestimento e defeitos associados a superfície do aglomerado. Na Figura 3.4 é apresentado um resumo do trabalho realizado. Nos ensaios em que se pretendeu provocar defeitos no revestimento a mudança das propriedades foi seguida por parâmetros como o teor de voláteis (*VC*) e o *B-stage*. Por essa mesma razão, todos os ensaios realizados no papel decorativo foram realizados em duplicado para que um fosse usado para ensaios e o outro segue-se para a prensagem. A importância dos parâmetros na avaliação da qualidade do papel decorativo e a forma como estes são obtidos será descrita posteriormente. Em todos os ensaios, a prensagem do papel decorativo ocorreu nas mesmas condições. Por fim, todos os painéis que surgiram destes ensaios sofreram as mesmas análises que os industriais com a finalidade de ser possível comparar os resultados de ambos.

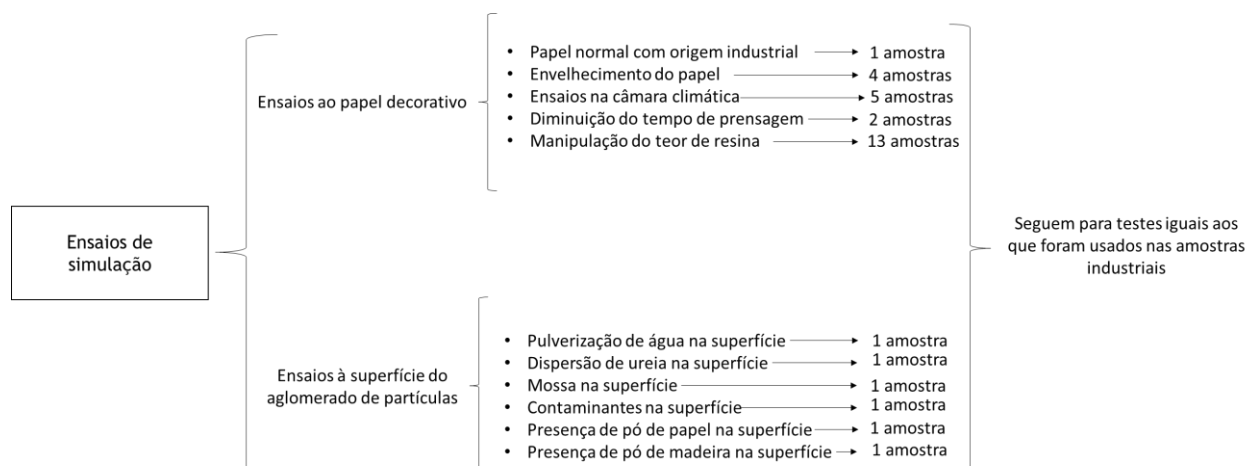


Figura 3.4-Resumo dos ensaios de simulação realizados.

3.2.1 Simulação dos defeitos por manipulação do papel decorativo

❖ Envelhecimento do papel decorativo

Este ensaio pretendeu simular o envelhecimento do papel quando armazenado em ambientes secos. Assim, o papel foi seco numa estufa a 140 °C, sendo que a escolha da temperatura está associada à usada industrialmente na etapa de secagem. Utilizando papel decorativo com origem industrial, este foi colocado na estufa 30, 60, 90 e 120 s. É expectável que a maior secagem do papel provoque uma maior polimerização da resina.

❖ Colocação do papel decorativo na câmara climática

Estes ensaios pretenderam estudar a influência da humidade na qualidade do papel decorativo. Assim, inicialmente começou-se por estudar o comportamento do papel a uma humidade relativa de 45 % e a uma temperatura de 20 °C. A estas condições mantiveram-se amostras na câmara durante períodos de 1 h e de 3 dias. Para além disso, foi também estudado o comportamento do papel a uma humidade relativa de 85 % e a uma temperatura de 20 °C. A estas condições as amostras tiveram 1 h, 2 h e 4 dias na câmara climática.

❖ Diminuição do tempo de prensagem do papel decorativo

No sentido de estudar a influência do tempo da prensagem na qualidade da superfície, o papel decorativo foi prensado nas mesmas condições do que as restantes amostras exceto o tempo de prensagem. Este foi reduzido primeiramente para 30 s e de seguida, para 20 s.

❖ Manipulação do teor em resina

O intuito deste ensaio foi estudar a influência do teor em resina (RC) na qualidade do papel decorativo. Assim, foi necessário proceder a impregnação manual deste material. A impregnação do papel consiste na aplicação sequencial de dois banhos de resina no papel decorativo. Primeiramente, a folha de papel é impregnada em ambos os lados com a formulação

da resina do 1º banho. Seguidamente, a folha é colocada no secador a 140 °C durante 105 s. Posteriormente, a folha de papel é impregnada novamente em ambos os lados com a formulação da resina do 2º banho. Por fim, o papel é colocado no secador a 140 °C durante 45 s. Na Tabela 3.1 e 3.2, respetivamente, está presente a formulação da resina de impregnação para o 1º banho e 2º banho.

Tabela 3.1-Formulação da resina de impregnação para o 1º banho.

Composto	Quantidade (%)
Resina MF	93,30
Água	6,30
Agente endurecedor	0,10
Aditivos	0,30

Tabela 3.2-Formulação da resina de impregnação para o 2º banho.

Composto	Quantidade (%)
Resina MF	93,52
Água	4,06
Agente endurecedor	0,14
Aditivos	2,28

Para cada um dos banhos em questão, existem valores de teor em resina a cumprir que são definidos pela empresa. Os valores estipulados são apresentados na Tabela 3.3. A forma de cálculo destes parâmetros será descrita abaixo.

Tabela 3.3-Valores padrão do teor em resina do papel impregnado.

Banho	RC padrão (%)
1º	38-42
2º	54-56

Relativamente as condições testadas, podem-se distinguir três. A primeira está associada a diminuição do teor em resina do 2º banho (RC_{final}) mantendo um teor em resina do 1º banho (RC_1) dentro do estipulado. A segunda está associada a diminuição do RC_1 , mantendo em

algumas o RC_{final} estipulado e em outras abaixo do esperado. Esta condição foi estudada, pois está associada a defeitos visíveis no papel decorativo.[48] Para além destas condições, estudou-se também o efeito do excesso de resina no papel. Nesse sentido, testaram-se condições em que o RC_{final} era excessivo e condições em que ambos os RC eram excessivos.

❖ Ensaios ao papel impregnado

Neste trabalho realizaram-se três tipos ensaios ao papel impregnado: determinou-se o teor em resina, o teor de voláteis e o *B-stage*.

- Determinação do teor em resina

O RC é um parâmetro que indica a percentagem de resina que foi incorporada no papel após o banho. Para determinar este parâmetro o primeiro passo é medir a massa da folha de papel seca (m_1). Após a impregnação e a secagem do papel associada ao 1º banho, determina-se novamente a sua massa (m_2). O RC do 1º banho (RC_1) é obtido usando a equação (3.1).[49]

$$RC_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100 \quad (3.1)$$

O RC_{final} é calculado após a impregnação e secagem associada ao 2º banho. Assim, após esta secagem, a folha de papel é novamente pesada (m_3), sendo que o RC_{final} é calculado pela equação (3.2).[49]

$$RC_{final} = \frac{m_3 - m_1}{m_3} \times 100 \quad (3.2)$$

- Determinação do teor de voláteis

O valor de VC representa a quantidade em percentagem de compostos voláteis no papel impregnado. Este ensaio é realizado após o final do processo de impregnação. A análise é iniciada pelo corte de uma rodela de uma folha do papel impregnado com 11,3 cm de diâmetro. De seguida, pesa-se a massa da rodela em questão (m_4). Posteriormente, esta é colocada numa estufa a 160 °C durante 5 min. Após esse tempo, é pesada novamente a rodela (m_5). O VC é calculado pela equação (3.3).[49]

$$VC = \frac{m_4 - m_5}{m_4} \times 100 \quad (3.3)$$

O valor que está estabelecido pela empresa para os VC compreende-se entre os 6 % e 7 %.

- Determinação do *B-stage*

Este ensaio permite medir a percentagem de resina que é solúvel em água. A análise consiste no corte de duas rodela com 11,3 cm de diâmetro, sendo que uma delas é colocada num banho de água quente a 60 °C durante 60 s. De seguida, ambas as rodela são colocadas numa estufa a 160 °C durante 5 min. Por fim, é medida a massa da rodela que foi colocada no

banho (m_6) e também aquela onde foi realizada o ensaio de *VC* (m_5). O *B-stage* é calculado pela equação (3.4). [50]

$$B - stage = \frac{m_6 - \text{massa do papel base (100 cm}^2\text{)}}{m_5 - \text{massa do papel base (100 cm}^2\text{)}} \times 100 \quad (3.4)$$

Nos trabalhos em questão, como já referido anteriormente, a gramagem do papel utilizada foi de 80 g m⁻² e então uma secção de 100 cm² possui uma massa de 0,8 g.

Um valor mais elevado de *B-stage* indica que a resina é menos solúvel e assim, mais polimerizada. Portanto, estes ensaios indicam o grau de polimerização da resina. Uma das importantes características da resina é que esta flua quando sujeita a pressão e calor. Se a resina está muito polimerizada, a resina tem menos capacidade de fluir de forma a formar um filme não poroso. Neste caso, um valor mais baixo de *B-stage* é desejado. Por outro lado, o papel impregnado tem uma grande capacidade de absorver humidade da atmosfera e tornar-se difícil de trabalhar. Se a resina possuir um maior grau de polimerização é menos solúvel e assim, neste caso, um valor de *B-stage* mais elevado é desejado. [50]

Um compromisso tem de ser assim atingido entra as duas situações, portanto, para papel decorativo impregnado com resina MF o *B-stage* ideal encontra-se entre os 30 % e os 75 %. [50]

3.2.2 Simulação dos defeitos por manipulação do aglomerado

❖ Pulverização de água na superfície

Um dos primeiros ensaios realizados foi a presença de água dispersa na superfície, algo que é possível que aconteça no transporte do aglomerado até ao local onde se realiza o revestimento. O ensaio consistiu na pulverização de água na superfície do aglomerado seguida pela prensagem do papel decorativo por cima dessa superfície.

❖ Dispersão de ureia na superfície

Sendo a ureia um dos componentes que faz parte das resinas que são adicionadas na etapa da encolagem ao colchão, pretendeu-se verificar os efeitos superficiais da acumulação deste componente à superfície. O ensaio consistiu na preparação de uma solução de ureia diluída em água que foi dispersa por uma secção da superfície do aglomerado de partículas. Essa secção foi seca de forma a que na superfície estivesse acumulada somente ureia. De seguida, executou-se a prensagem do papel decorativo na superfície do aglomerado.

❖ Presença de uma mocha na superfície

No sentido de recriar a presença de uma mocha na superfície do aglomerado foi removida uma amostra paralela à superfície, tendo esta alguma profundidade. De seguida, o aglomerado em questão foi revestido com papel decorativo.

❖ Contaminantes na superfície

No sentido de excluir a possibilidade de a contaminação ocorrer durante a prensagem do papel, e não pela presença de contaminantes na matéria prima, foi colocado na superfície do aglomerado papel e plástico e de seguida realizada a prensagem do revestimento.

❖ Presença de pó de papel na superfície do aglomerado

A nível industrial, a manipulação do papel decorativo já impregnado leva a formação de pó de papel que muitas vezes chega a contaminar a superfície do aglomerado. No sentido de verificar se a presença deste pó causa problemas na qualidade da superfície, foi colocado pó de papel na superfície do aglomerado e de seguida realizada a prensagem do revestimento.

❖ Presença de pó de madeira na superfície do aglomerado

As técnicas de acabamento do aglomerado de partículas levam a formação de pó de madeira que se acumula na superfície do aglomerado. O aglomerado de partículas foi sujeito a uma leve lixagem que provocou a acumulação de pó na superfície. De seguida, o revestimento foi prensado sobre a superfície com pó.

3.2.3 Prensagem do papel decorativo

Todos os ensaios realizados exigiram que no final ocorresse a prensagem do papel decorativo sobre o aglomerado de partículas. A prensagem foi realizada a 190 °C, durante 45 s a uma pressão de 27 bar. Neste caso, o revestimento com papel decorativo foi realizado somente num dos lados do painel. Para que o papel decorativo tivesse um acabamento brilhante foi utilizada uma chapa que foi colocada entre o aglomerado com o papel decorativo em cima e o prato da prensa.

4 Resultados e Discussão

4.1 Amostras de origem industrial

A primeira parte do trabalho consistiu na análise das amostras com origem industrial. Todas elas eram PB revestido com papel decorativo de vários tipos. As amostras foram numeradas e está presente nas Figura 4.1 e 4.2 as imagens de alguns dos defeitos encontrados. Realizando uma primeira análise visual é possível distinguir 3 tipos de defeitos:

- ❖ Manchas escuras na superfície do revestimento, associadas à amostra 1;
- ❖ Pontos brilhantes na superfície, associadas à amostra 2;
- ❖ Mossas na superfície, associadas as restantes amostras.

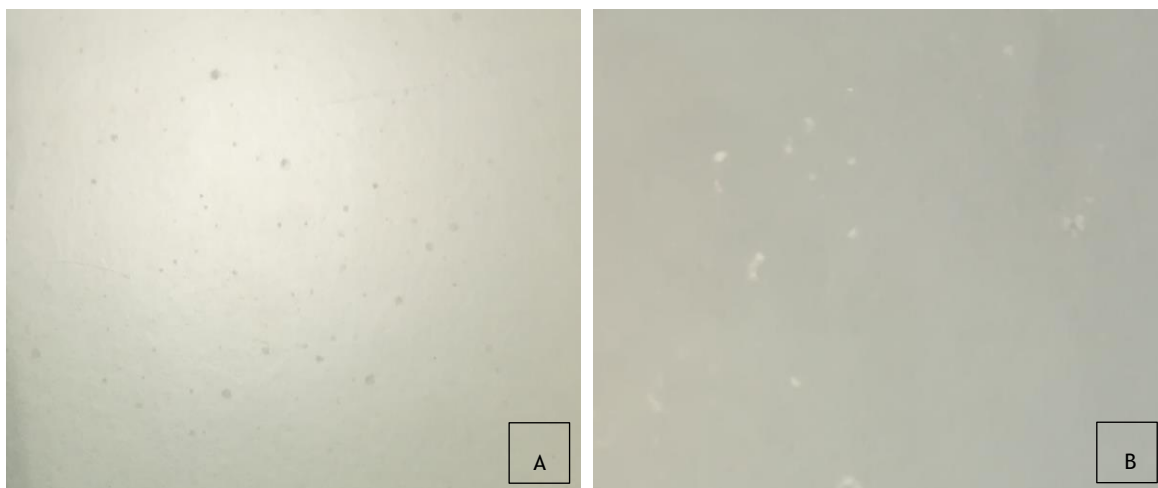


Figura 4.1-Imagens dos defeitos industriais estando representado na imagem A a amostra 1 e na imagem B a amostra 2.

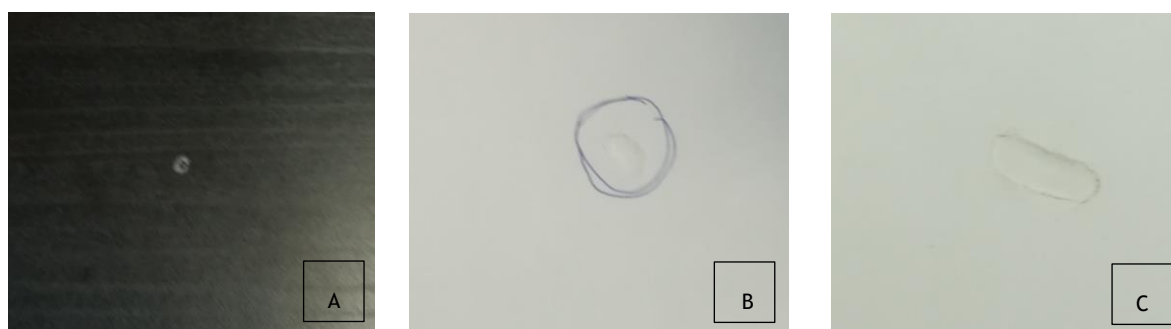


Figura 4.2-Imagens dos defeitos industriais estando representado na imagem A a amostra 5, na imagem B a amostra 9 e na imagem C a amostra 10.

Primeiramente, será discutida a **amostra 1**. A superfície foi avaliada através da digitalização e os locais com defeito foram analisados por SEM. Nas zonas com defeito foram

também obtidos os perfis primários, usando um rugosímetro, e recolhidas imagens desses locais usando a lupa. Avaliando primeiramente o perfil primário das zonas com defeito, Figura 4.3, é possível identificar o local em estudo pela inconsistência do perfil entre os 2 e 3 mm onde se observam picos de maior profundidade.

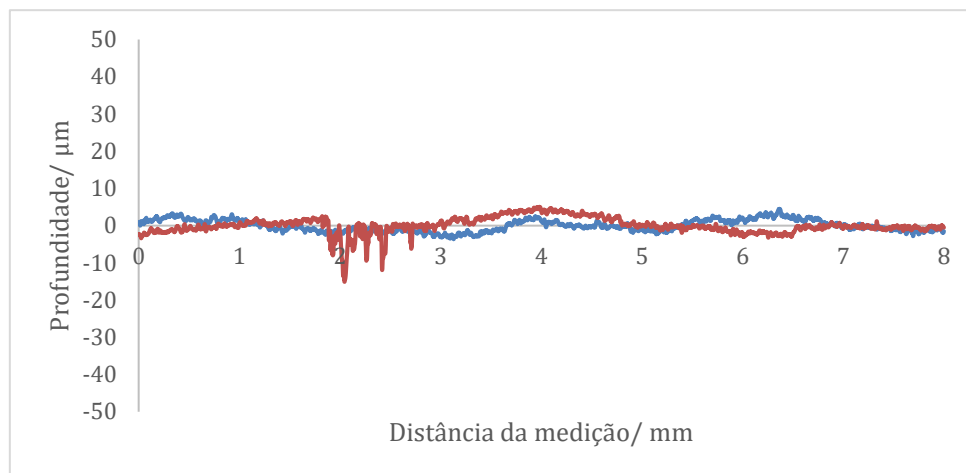


Figura 4.3-Perfil primário da zona com defeito na amostra 1 (linha vermelha) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha azul).

Avaliando agora os resultados obtidos por digitalização e pela análise à lupa, Figura 4.4, os dados foram coerentes com o que foi concluído pelas análises com o rugosímetro. As zonas com defeito não são manchas, mas sim diferenças de relevo relativamente ao resto do papel, o que permite concluir que os defeitos devem-se localizar no revestimento e não no aglomerado de partículas. É importante destacar que a irregularidade das manchas na análise de digitalização verifica-se pela presença de cor nas zonas vermelhas.

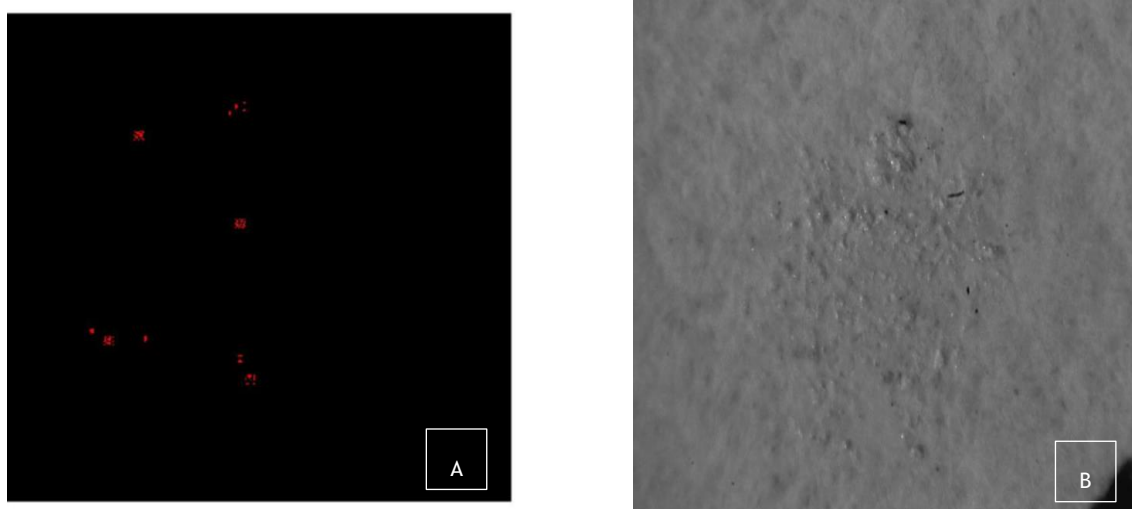


Figura 4.4-A imagem A está associada aos ensaios da digitalização da superfície e a imagem B está associada as análises à lupa realizadas nas zonas com defeito.

Relativamente, as análises de SEM foram retiradas duas amostras da superfície do PB revestido. A primeira amostra foi retirada de uma zona sem defeito e a outra de uma zona com defeito. Durante as análises de SEM não se conseguiu observar diferenças visuais entre as duas, como é apresentado na Figura 4.5.

É importante destacar que na imagem da zona sem defeito existe a presença de umas manchas, assinaladas a vermelho, que não são visíveis na imagem da zona com defeito. Apesar disso, é comum a presença delas nas análises de SEM realizadas aos painéis revestidos com papel melamínico.

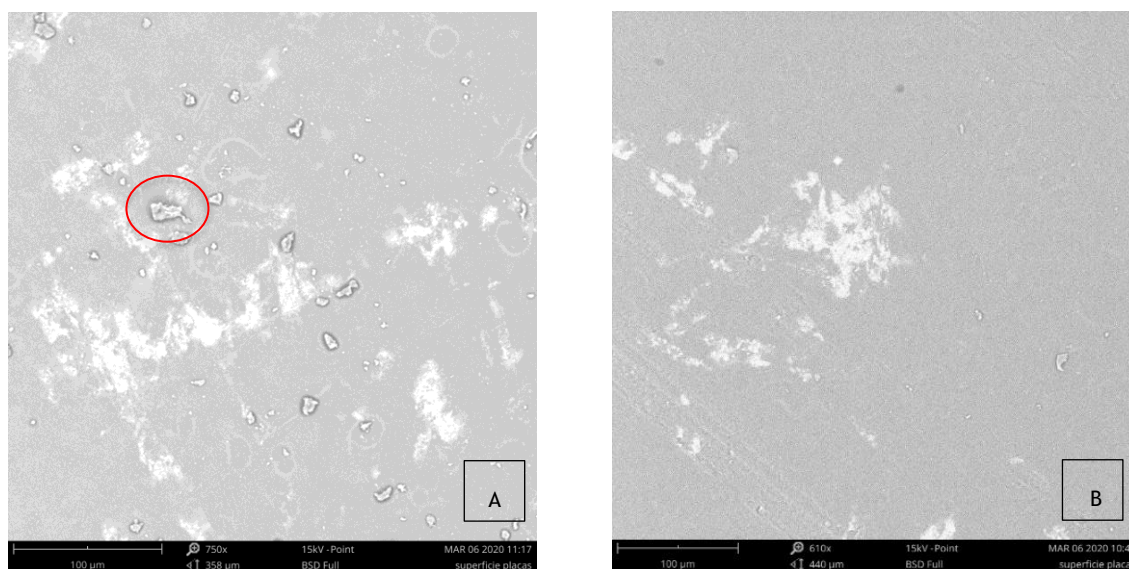


Figura 4.5-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a uma zona sem defeito e a imagem B a uma zona com defeito.

Com o microscópio eletrónico de varrimento, usando o EDS, foram analisadas algumas áreas para verificar se a presença de algum composto pode-se justificar a existência dos defeitos. Avaliando os resultados da zona sem defeito conclui-se que as zonas cinzentas têm uma composição química constituída por carbono, oxigénio e azoto. As zonas brancas têm uma composição química que consiste essencialmente em carbono, oxigénio e titânio. É de extrema importância referir que a presença do titânio é justificada pelo uso do dióxido de titânio como pigmento na produção de painéis brancos. Estas conclusões mantiveram-se para as análises realizadas para as zonas com defeito. Os dados recolhidos são apresentados em mais detalhe no Apêndice A.

Relativamente à **amostra 2**, na qual se verifica a presença de pontos brilhantes na superfície, as análises realizadas foram as mesmas do que para a amostra 1, excluindo somente as análises de digitalização. Avaliando o perfil primário da zona com defeito, Figura 4.6,

verifica-se que a zona com o defeito está representada logo no início do perfil e trata-se de uma zona com uma profundidade relevante, mas que é de pequena dimensão.

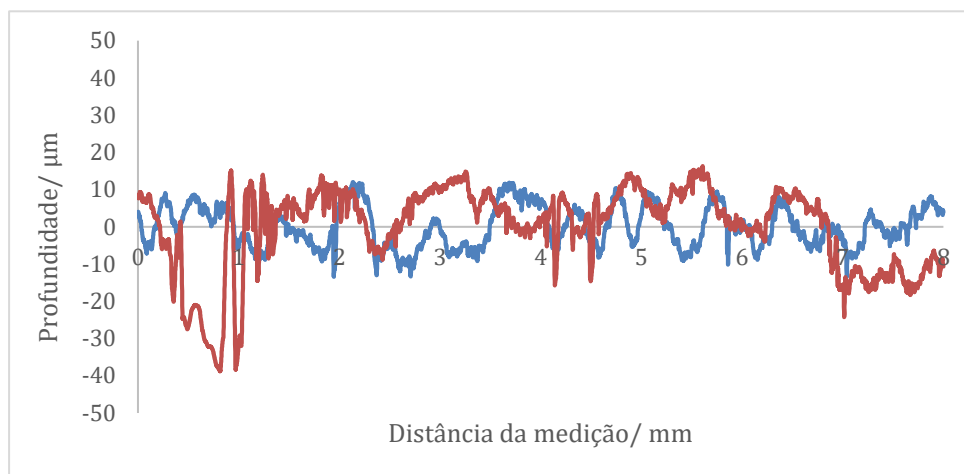


Figura 4.6-Perfil primário da zona com defeito na amostra 2 (linha vermelha) comparativamente a uma zona sem defeito na amostra 3 (linha azul).

Seguidamente, utilizou-se a lupa para analisar a topografia das zonas em questão. Os dados recolhidos estão presentes na Figura 4.7. À lupa é possível verificar que existe uma clara diferença entre os defeitos e o resto da superfície. Nas zonas com defeito não se verifica a presença do revestimento e existe uma tonalidade brilhante que poderá estar possivelmente associada a resina. Tal como o defeito anterior, este deverá estar associado a problemas do revestimento o que é evidenciado pela tonalidade diferente nos locais em análise comparativamente ao resto da superfície. Relativamente aos ensaios de SEM, como existia neste caso um painel com defeito e outro painel do mesmo material dentro das especificações optou-se por retirar uma amostra de cada um. Os dados recolhidos foram apresentados na Figura 4.8.

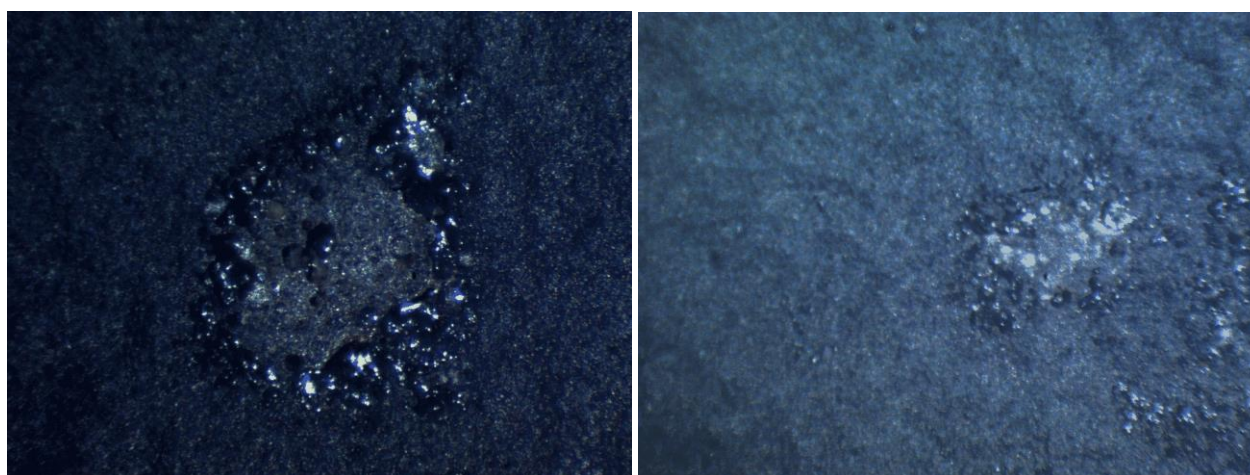


Figura 4.7-Imagens do defeito associado a amostra 2 analisado à lupa.

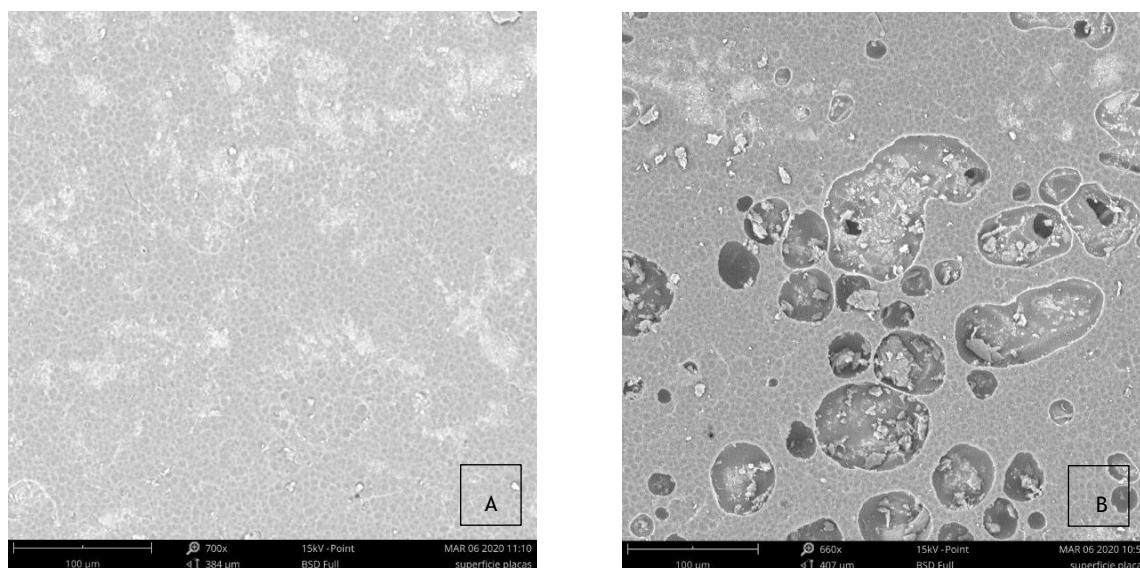


Figura 4.8-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a uma zona sem defeito e a imagem B uma zona com defeito.

Neste caso, os resultados de SEM foram conclusivos e mostram uma tipologia de superfície muito diferente nos dois casos, na zona com defeito existem locais em que a superfície é claramente diferente e aparenta estar estalada. Relativamente à avaliação da composição química, as conclusões retiradas para a amostra 1 mantiveram-se não se tendo verificado mudanças significativas. Estes dados também estão apresentados no Apêndice A.

De seguida, avaliou-se as **amostras 4 a 11**. Todas elas, visualmente, apresentam como defeitos, danos na superfície do aglomerado. Para a avaliação dos defeitos em causa foram realizadas análises com o rugosímetro e uma observação dos locais à lupa. Relativamente às análises com o rugosímetro, foi possível concluir que os perfis das zonas com defeitos são muito semelhantes entre si nas amostras em análise. Os perfis de todas as amostras serão apresentados no Apêndice B mas, como forma de exemplo, na Figura 4.9 são apresentados os perfis das amostras 8 e 10.

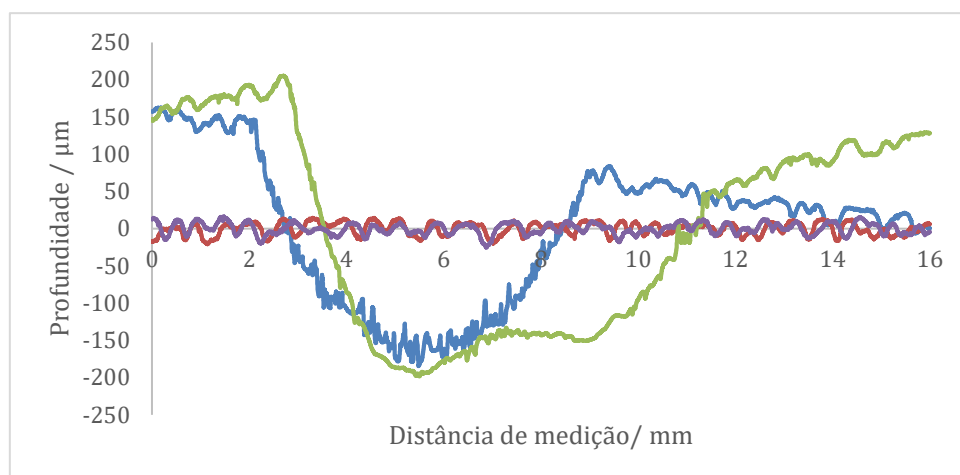


Figura 4.9-Perfis primários das zonas com defeito (linha azul a amostra 8 e linha verde a amostra 10) comparativamente a zonas sem defeito (linha vermelha a amostra 8 e linha roxa a amostra 10).

Fazendo uma avaliação dos perfis no geral, o primeiro ponto a destacar é a não correspondência entre o perfil base da amostra em avaliação e o perfil da zona com defeito. É também de notar que a falta de correspondência dos perfis é tendencialmente mais notável antes do defeito. Todos os defeitos se apresentam como uma depressão, com uma forma mais ou menos circular. É de destacar que no perfil da amostra 10, Figura 4.9, no interior da depressão existe um pequeno pico que pode indicar a presença de algum contaminante. Relativamente aos ensaios com a lupa, foi possível distinguir as amostras entre si tendo em conta o aspeto visual dos defeitos. Distingue-se três tipos diferentes de danos. O primeiro grupo é constituído pelas amostras 5, 6 e 7 e os defeitos em questão destacam-se dos restantes por possuírem uma dimensão mais pequena e em volta do defeito existir uma superfície brilhante. As imagens recolhidas são apresentadas na Figura 4.10.

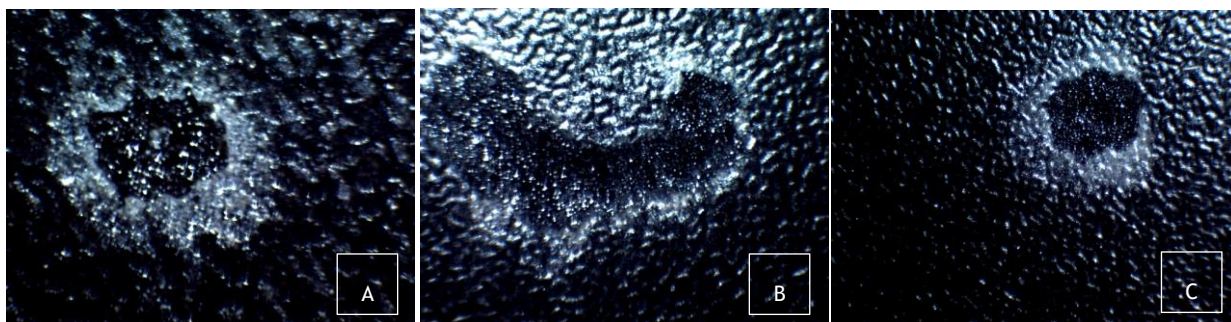


Figura 4.10-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 5, a imagem B à amostra 6 e a imagem C à amostra 7.

O segundo grupo é constituído pelas amostras 4, 8 e 9, que se caracterizam por serem mossas tendencialmente maiores que apresentam no fundo um aspeto vidrado. Os dados recolhidos à

lupa para essas amostras são apresentados na Figura 4.11. É também de destacar que ao contrário do primeiro grupo, a volta da zona, ocorreu a quebra do papel decorativo. Na Figura 4.11, as zonas de quebra são assinaladas com um círculo vermelho. Por fim, o terceiro grupo é constituído pelas amostras 10 e 11. Estas destacam-se das restantes por possuírem dentro da depressão duas zonas distintas, uma zona brilhante e uma zona opaca que aparenta corresponder ao pequeno pico que é visível na Figura 4.9. Para além disso, verifica-se também a rotura do papel na zona de transição. As imagens recolhidas são apresentadas na Figura 4.12, e estão assinaladas a vermelho as zonas de quebra. Conclui-se, tanto pela análise dos perfis primários, como pelas imagens recolhidas à lupa que a presença destes danos não estará associada ao revestimento, mas a problemas já existentes na superfície do aglomerado.

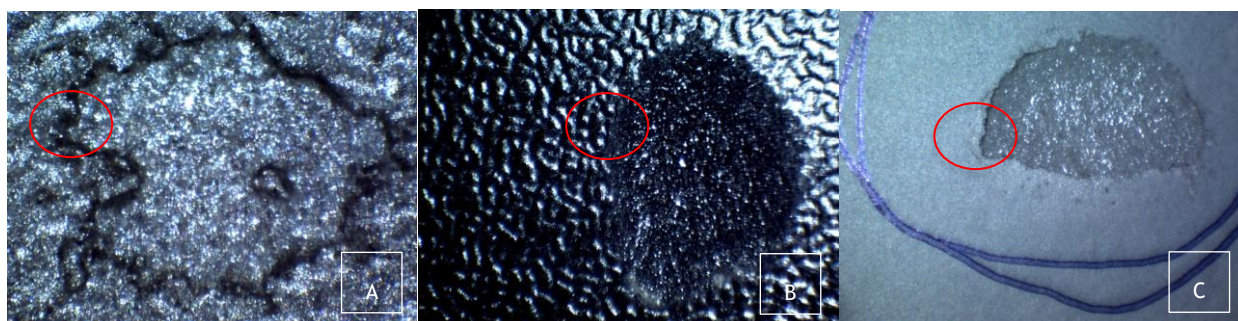


Figura 4.11-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 4, a B à amostra 8 e a C à amostra 9.

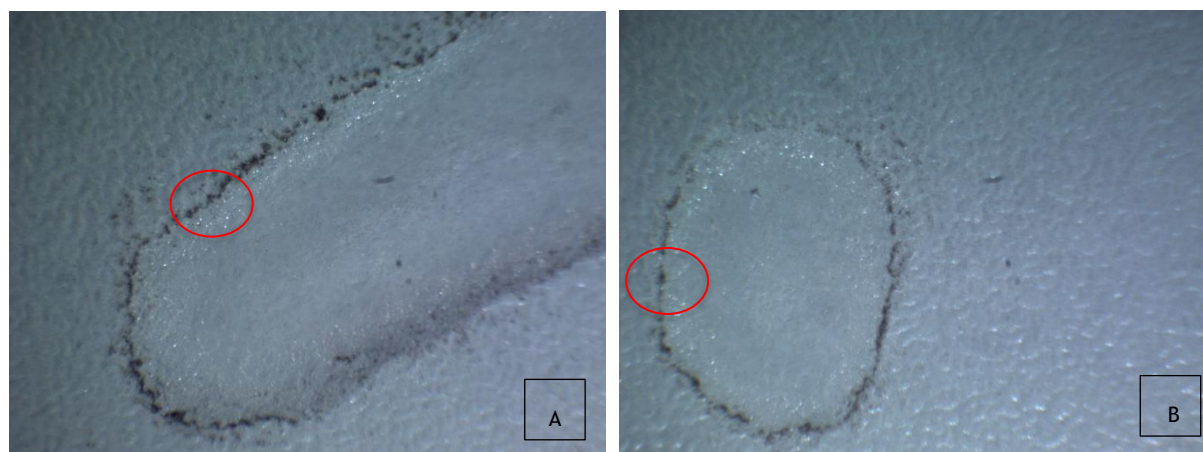


Figura 4.12-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 10 e a imagem B à amostra 11.

Em suma, nas amostras industriais detetaram-se 5 tipos de defeitos. Dois desses defeitos devem estar associados à falta de qualidade do revestimento e caracterizam-se por manchas escuras e pontos brilhantes na superfície. Os outros três classificam-se como mossas e devem estar associados à falta de qualidade da superfície do aglomerado.

4.2 Amostras dos ensaios de simulação

4.2.1 Amostras associadas a manipulação do papel decorativo

Após as análises dos defeitos industriais e utilizando as informações recolhidas sobre os defeitos encontrados na superfície dos aglomerados, procedeu-se à manipulação dos painéis de forma a provocar defeitos. Inicialmente, irão-se analisar os resultados **dos ensaios da manipulação do papel decorativo**. Numa análise preliminar, foi possível concluir que somente os ensaios de envelhecimento do papel, os ensaios de diminuição do tempo de prensagem e os ensaios de manipulação do teor em resina é que verificaram defeitos. As imagens dos defeitos em questão são apresentadas na Figura 4.13. Uma análise mais detalhada de cada um dos ensaios realizados será apresentada abaixo.

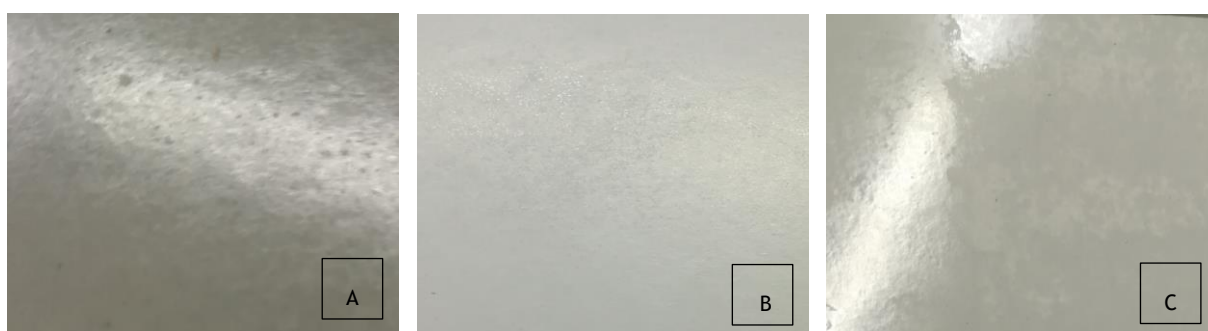


Figura 4.13-Imagens dos defeitos de simulação estando na A o defeito associado ao envelhecimento do papel, na B o defeito associado a diminuição do tempo de prensagem e na C o defeito associado a segunda condição do ensaio da manipulação do teor em resina.

Relativamente aos **ensaios do envelhecimento do papel**, como já descrito acima, o papel decorativo foi colocado numa estufa durante 30, 60, 90 e 120 s. O envelhecimento do papel foi seguido por ensaios de *B-stage* e de teor de voláteis, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1-Valores de B-stage e VC dos ensaios de envelhecimento do papel.

Tempo (s)	B-stage (%)	Teor de voláteis (%)
0	26,1	6,2
30	56,6	3,9
60	64,7	4,0
90	85,4	2,6
120	91,7	2,6

Analisando os resultados da Tabela 4.1 é possível perceber que os valores de *B-stage* que saem significativamente da gama desejada são os dos dois últimos ensaios, de 90 e 120 s. É considerado que papel decorativo com um valor de *B-stage* superior aos 75 % evidencia problemas com a falta de escoamento da resina (*flow*), estando mais suscetível a problemas de cor e porosidade.[50] Em termos visuais, também só se verificaram defeitos nestas últimas duas amostras. Todas as amostras foram analisadas através do rugosímetro, sendo que os locais com defeito se caracterizam por picos de profundidade elevada que se encontram por toda a superfície das duas amostras. Na Figura 4.14 são apresentados os perfis primários de todas as amostras de envelhecimento comparativamente a uma amostra de papel *standard*. Relativamente às análises à lupa, a presença dos defeitos é sobretudo visível na amostra envelhecida 120 s, sendo que as zonas em questão são pequenas mossas que se verificam por toda a superfície corroborando o que se verifica a nível dos perfis primários. É possível assim concluir, que o envelhecimento do papel origina que na superfície do revestimento se formem pequenos pontos com maior profundidade. As análises à lupa estão presentes nas Figuras 4.15 e 4.16, assinalando-se como exemplo a vermelho uma zona onde se encontra o defeito.

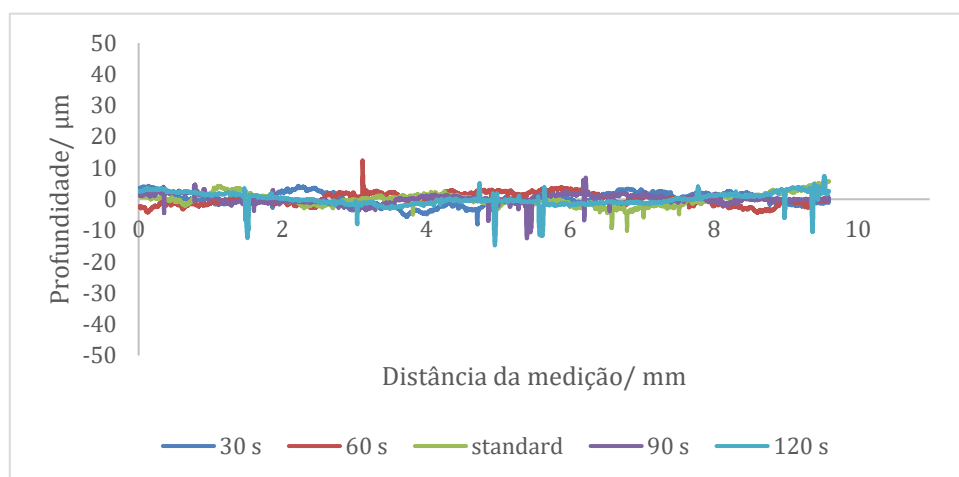


Figura 4.14-Perfis primários das amostras de envelhecimento do papel.

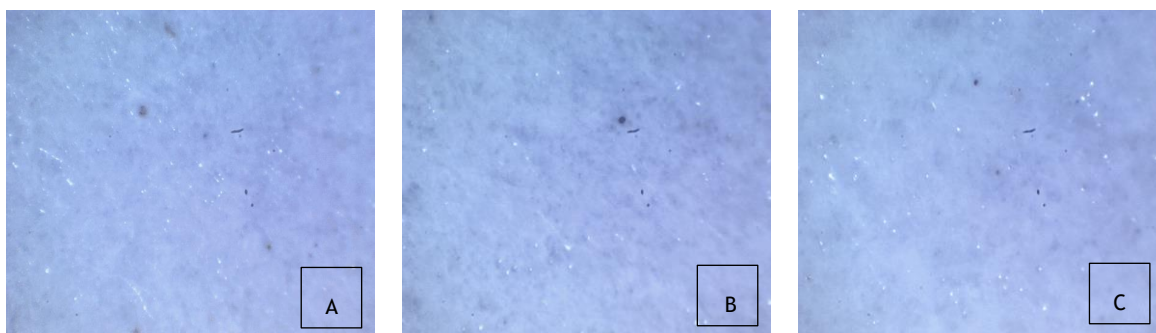


Figura 4.15-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard, a imagem B ao papel envelhecido 30 s e a imagem C ao papel envelhecido 60 s.

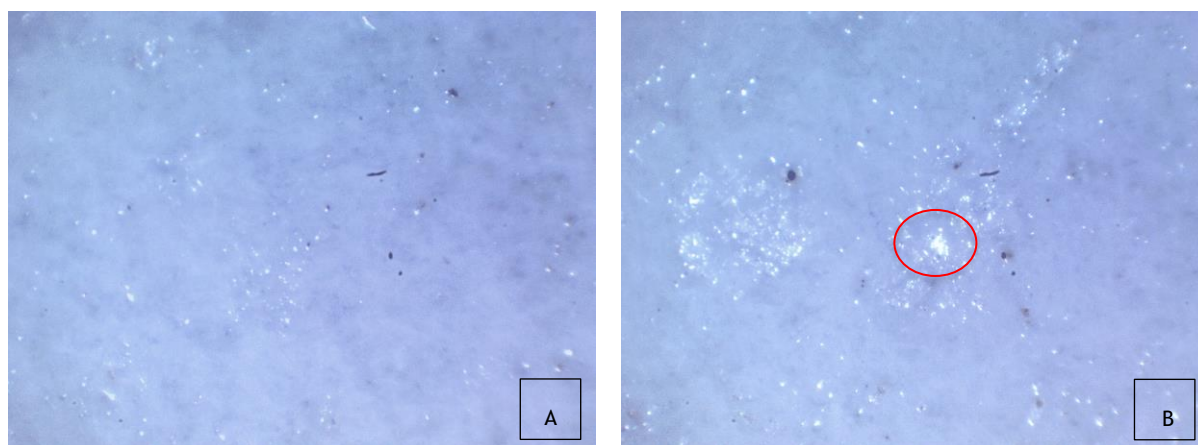


Figura 4.16-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel envelhecido 90 s e a imagem B ao papel envelhecido 120 s.

Tendo em conta que esta tipologia de defeito não é muito visível nas imagens à lupa, decidiu-se realizar análises de SEM. Assim, recolherem-se duas amostras, uma de papel *standard* e outra de papel envelhecido 120 s que foram analisadas por esta técnica. Os resultados são apresentados na Figura 4.17.

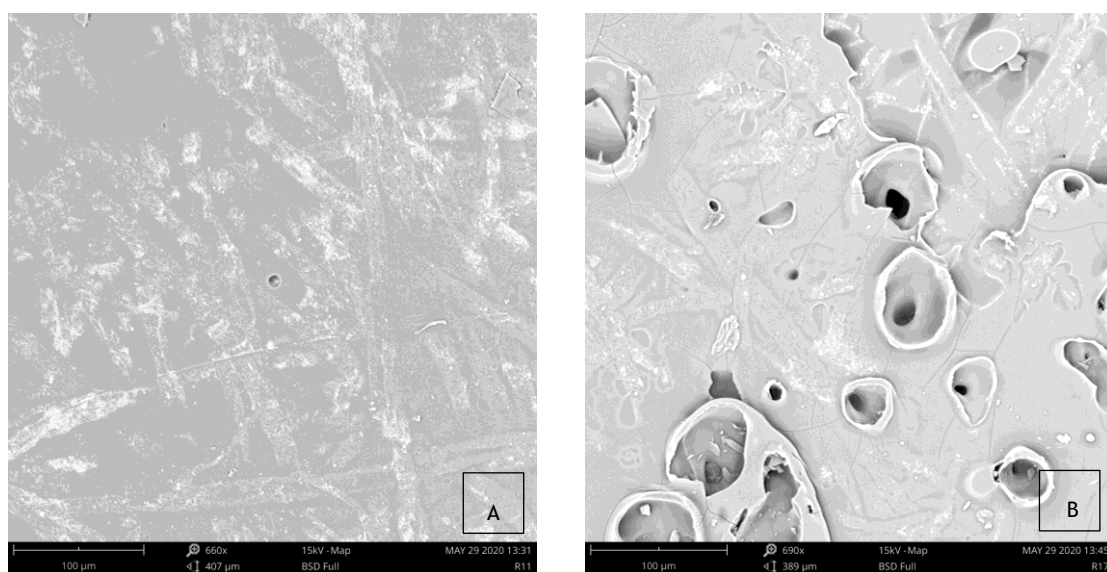


Figura 4.17-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a amostra de papel standard e a imagem B a do papel envelhecido durante 120 s.

Tal como foi concluído pelos ensaios com o rugosímetro, o envelhecimento do papel provoca que à superfície existam pequenas mossas. Pelas análises de SEM, foi possível concluir que os defeitos possuem uma maior profundidade no centro do que na periferia. O defeito em questão poderá ser provocado pelo excesso de pressão de vapor proveniente do aglomerado, originado pela excessiva humidade do aglomerado comparativamente ao papel decorativo que foi seco excessivamente. Relativamente à avaliação da composição química, esta é muito semelhante

à obtida nas amostras industriais. Os dados recolhidos da composição química estão presentes no Apêndice C.

Nos ensaios da câmara climática, apesar de terem sido testadas duas humidades relativas, não se verificaram defeitos na superfície do aglomerado. No Apêndice D estão presentes os valores de *B-stage* e *VC*, para essas amostras, que corroboram o que foi verificado visualmente, que não existiram mudanças significativas nas propriedades do papel decorativo.

No âmbito do trabalho em questão estudou-se também o tipo de defeitos que surgem pela **diminuição do tempo de prensagem**. É importante destacar que das duas condições testadas, só a amostra com tempo de prensagem 20 s apresentou defeito. Na Figura 4.18 está presente o perfil primário das amostras do papel *standard* e do papel prensado 30 s comparativamente ao papel prensado 20 s.

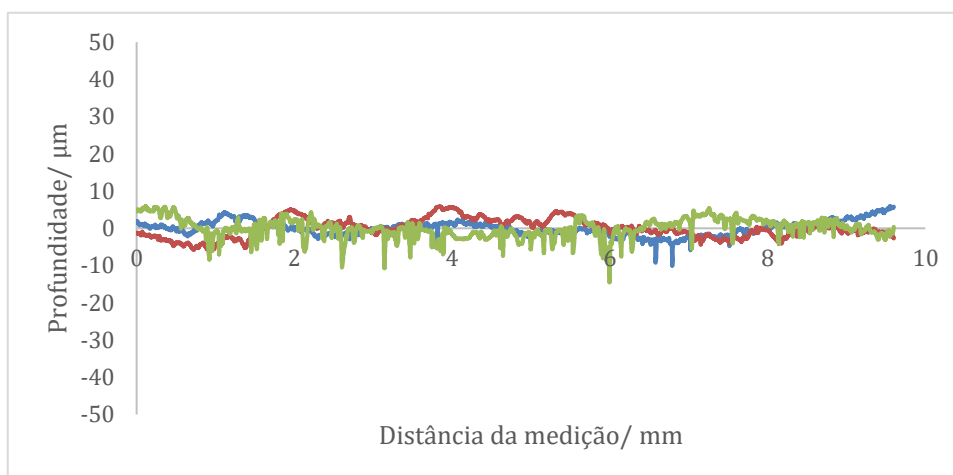


Figura 4.18-Perfis primários do papel standard (linha azul) comparativamente ao papel prensado 30 s (linha vermelha) e ao papel prensado 20 s (linha verde).

Relativamente aos ensaios de observação na lupa, os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.19. Verifica-se que o defeito se caracteriza como pontos de maior profundidade, assinalados com um círculo vermelho, onde possivelmente não existe a presença da resina por falta de escoamento (*flow*).

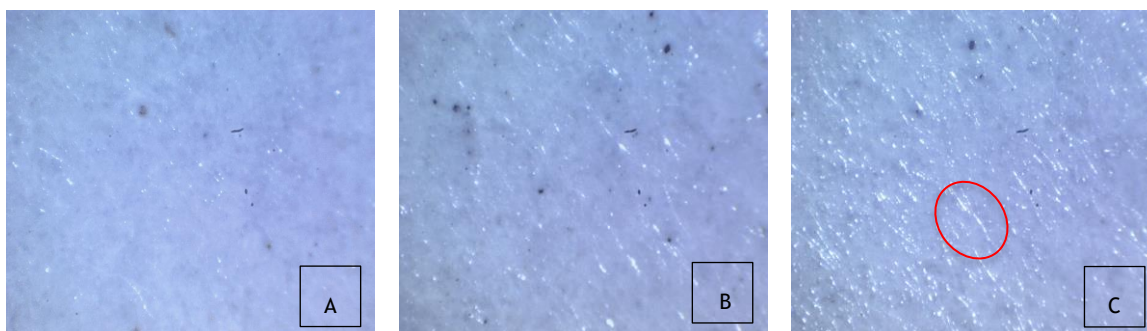


Figura 4.19-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard, a imagem B ao papel prensado durante 30 s e a imagem C ao papel prensado durante 20 s.

Relativamente aos ensaios de **manipulação do teor em resina**, como já foi explicado anteriormente, testaram-se três condições distintas. Na primeira situação, testou-se o que provocaria a diminuição do RC_{final} mantendo o RC_1 de acordo com o que seria ideal. São apresentados na Tabela 4.2 os valores do teor em resina testados tal como os valores de *B-stage* e *VC*. Para além desta condição, também foi estudado o efeito da diminuição do RC_1 sendo que, neste caso, em algumas amostras o RC_{final} foi cumprido e noutras o teor era inferior ao ideal. Os resultados do teor em resina, *B-stage* e *VC* das amostras testadas são apresentadas na Tabela 4.3. Por fim, testou-se também se um teor em resina excessivo provocaria algum tipo de defeito, assim, testou-se um RC_{final} excessivo tal como ambos os parâmetros em excesso. Os resultados do teor em resina das amostras, tal como o *B-stage* e os *VC*, são apresentados na Tabela 4.4. Nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 os valores do teor em resina que cumprem o estipulado são representados a verde, os valores que estão abaixo do ideal a amarelo e os valores acima do estipulado a vermelho.

Tabela 4.2-Valores do teor em resina, B-stage e VC das amostras associadas à primeira condição testada.

Amostra	RC_1 (%)	RC_{final} (%)	VC (%)	B-stage (%)	Presença de defeito
1	39,50	57,39	5,9	43,2	Não
	37,32	57,44			
2	41,76	52,93	3,5	61,8	Sim
	42,44	53,30			
3	39,50	48,60	2,9	65,8	Sim
	38,95	47,27			
4	39,04	53,89	4,8	65,2	Sim
	40,62	53,41			

Tabela 4.3-Valores do teor em resina, B-stage e VC das amostras associadas à segunda condição testada.

Amostra	RC_1 (%)	RC_{final} (%)	VC (%)	B-stage (%)	Presença de defeito
5	41,13	57,31	5,8	56,3	Não
	42,25	56,02			
6	33,99	56,09	6,6	43,0	Não
	33,51	55,86			
7	32,29	50,10	5,4	35,5	Sim
	33,73	51,77			

8	35,61	52,87	7,1	41,9	Sim
	36,74	53,26			

Tabela 4.4-Valores do teor em resina, B-stage e VC das amostras associadas à terceira condição testada.

Amostra	RC_1 (%)	RC_{final} (%)	VC (%)	B-stage (%)	Presença de defeito
9	39,67	54,79	6,8	44,7	Não
	40,95	57,23			
10	37,88	60,22	7,2	42,6	Não
	38,95	59,94			
11	40,86	59,65	7,3	47,0	Não
	41,72	61,79			
12	45,37	58,10	6,6	47,0	Não
	44,05	58,57			
13	46,54	59,91	6,7	45,8	Não
	45,60	58,51			

Relativamente aos resultados obtidos foi possível concluir que de todas as condições testadas, somente duas provocaram defeito. A primeira condição está associada a um RC baixo em ambos os banhos e a segunda condição está associada a um RC_1 dentro do estipulado e um RC_{final} abaixo do que se considera ideal. O primeiro defeito distingue-se das amostras padrão por apresentar um valor elevado de VC e um valor baixo de $B-stage$. O segundo defeito caracteriza-se exatamente pelo contrário, um valor baixo de VC e um valor elevado de $B-stage$. As zonas com defeito nas amostras em questão foram analisadas com o rugosímetro sendo que como exemplo é representado o perfil da amostra 3 comparativamente ao da amostra padrão 1, Figura 4.20. Os restantes perfis são representados no Apêndice E.

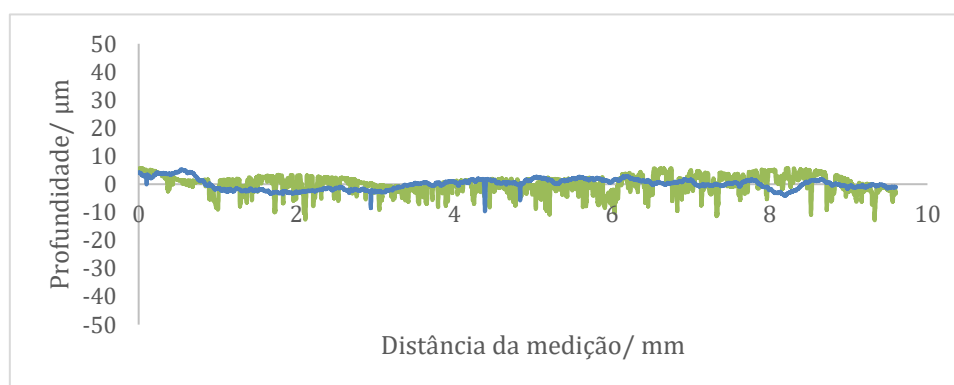


Figura 4.20-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 3 (linha verde).

Os dados recolhidos das zonas com defeito através da lupa são apresentados na Figura 4.21 e 4.22. São representadas imagens das amostras 1,2,3 e 7. Através das análises à lupa é possível distinguir claramente as zonas com falta de resina que se caracterizam por zonas com muita irregularidade, tal como se tinha verificado na Figura 4.20. Analisando todos os dados, é possível concluir que as duas condições que provocaram defeito provocaram defeitos com características semelhantes. Os defeitos foram também analisados por SEM, sendo que foram analisadas as amostras 1 e 3. Pode-se concluir que através do SEM este tipo de defeito não é identificado. Foram também realizadas análises à composição química das amostras sendo que os elementos químicos detetados são semelhantes às amostras industriais e são representados no Apêndice C. Todos os ensaios deram resultados semelhantes à amostra industrial 1, sendo aparente que se conseguiu reproduzir o defeito.

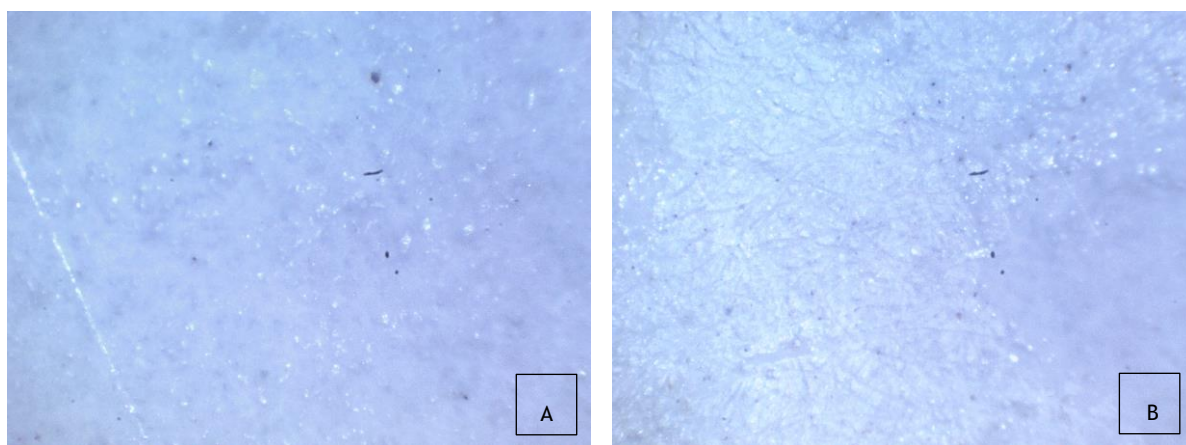


Figura 4.21-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 1 e imagem B à amostra 2.

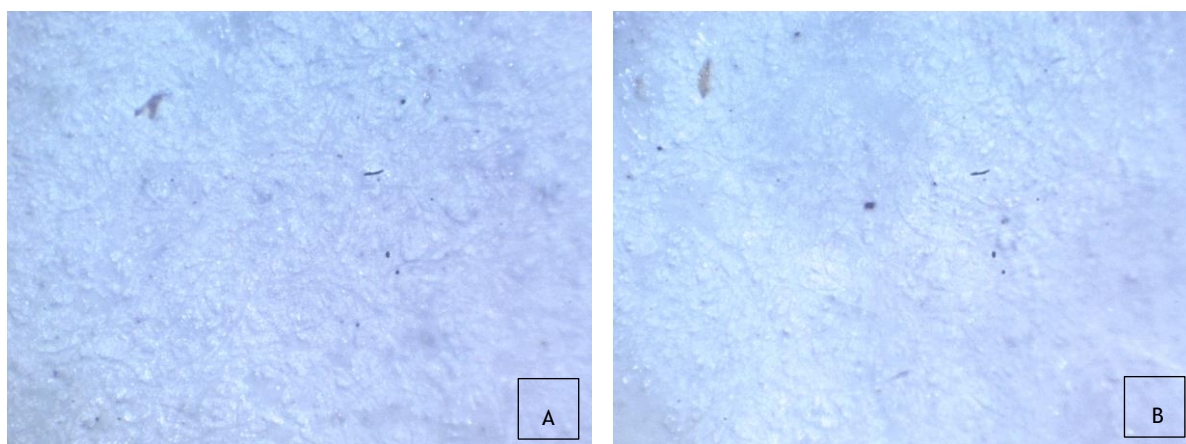


Figura 4.22-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 3 e a imagem B à amostra 7.

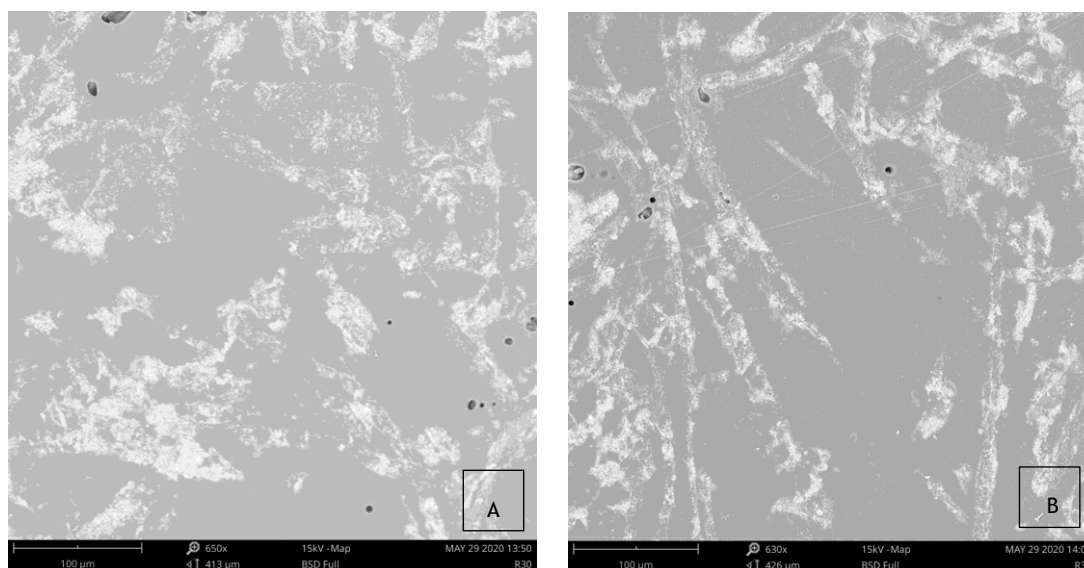


Figura 4.23-Imagens de SEM sendo que a imagem A está associada a amostra 1 e a imagem B a amostra 3.

4.2.2 Amostras associadas a manipulação do aglomerado

Seguidamente, vão ser avaliados os ensaios que foram executados na **superfície do aglomerado**. Fazendo uma avaliação inicial dos resultados é possível concluir que das condições testadas, somente os ensaios de pulverização da água, dispersão de ureia, presença de mocha à superfície e contaminantes à superfície apresentaram defeito. As imagens desses defeitos são apresentadas na Figura 4.24, sendo que uma análise mais detalhada será realizada de seguida.

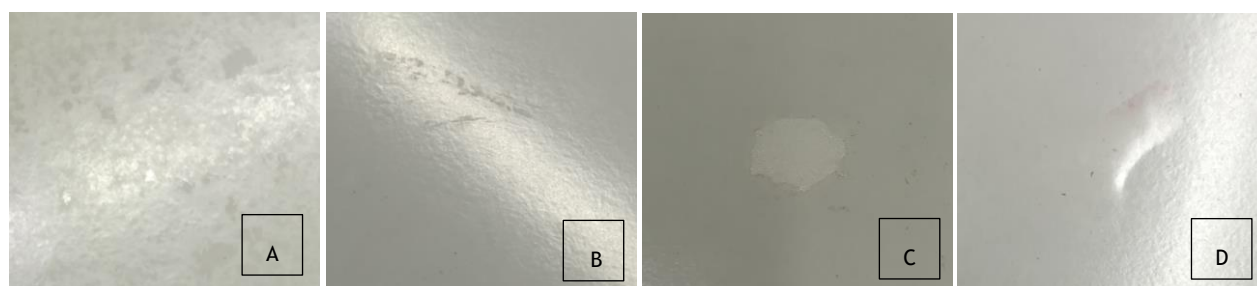


Figura 4.24-Imagens dos defeitos de simulação estando na A o defeito associado a pulverização da água, na B o defeito da dispersão de ureia, na C a mocha na superfície e na D a presença de contaminantes na superfície.

Em primeiro lugar, são avaliados os resultados associados a **pulverização da água na superfície**. É importante dizer que visualmente nas zonas da superfície do aglomerado onde a água se encontrava, o papel após a prensagem fica com manchas brilhantes localizadas nessas zonas. Na Figura 4.25 está presente o perfil primário de uma zona onde se realizou a pulverização da água comparativamente a uma zona sem defeito da mesma amostra. Analisando o perfil é possível concluir que o defeito se caracteriza pela presença de picos com uma maior profundidade relativamente ao resto do papel. O mesmo efeito é verificado na Figura 4.26 onde se apresentam os resultados da análise das zonas com defeito à lupa. Como forma de exemplo, assinalou-se uma dessas zonas a vermelho. Tendo em conta que acima já se conclui que esta tipologia de defeito é frequentemente associada a falta de escoamento da resina, pode-se concluir que a presença de água dificulta o escoamento desta provocando esta tipologia de defeito.

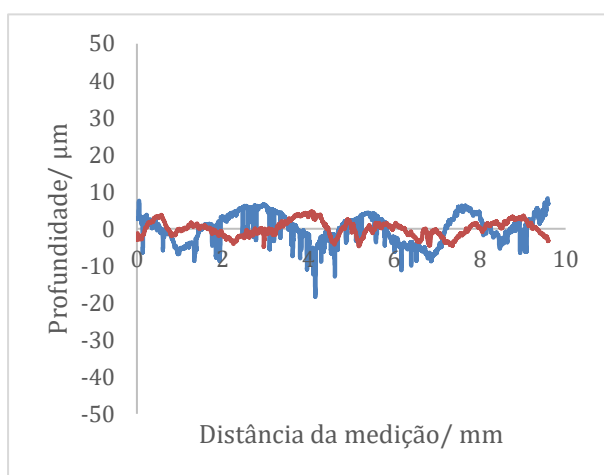


Figura 4.25-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).



Figura 4.26-Imagem à lupa de um local onde ocorreu a pulverização da água.

Seguidamente, foram realizados ensaios onde se pretendeu verificar o **efeito da acumulação da ureia na superfície do aglomerado**. Na Figura 4.27 está representado o perfil primário da zona onde foi adicionada a substância comparativamente a uma zona do aglomerado sem tratamento. Na Figura 4.28 apresenta-se as imagens recolhidas à lupa do defeito provocado pela adição da ureia na superfície do aglomerado. Através do perfil primário é possível concluir que as zonas da acumulação da ureia se encontram nos picos que estão representados no perfil. Nas imagens à lupa é possível identificar as zonas com defeito pelas zonas amareladas que são observadas na imagem.

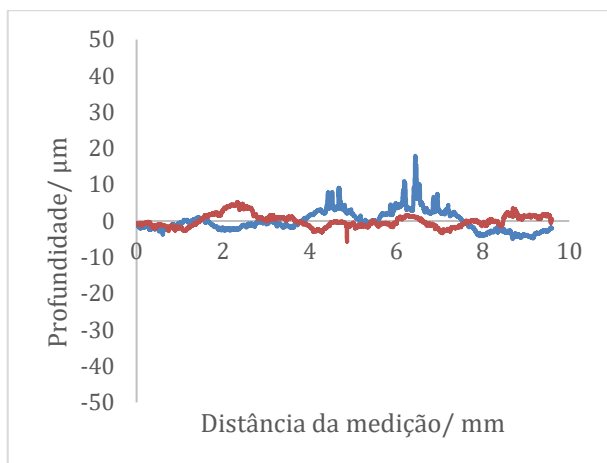


Figura 4.27-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

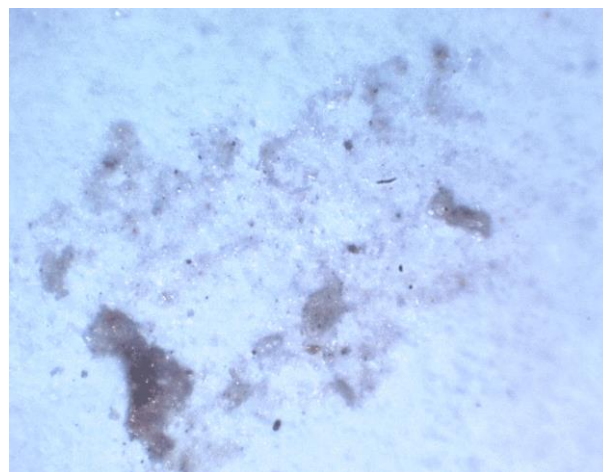


Figura 4.28-Imagem à lupa de um local onde ocorreu a dispersão de ureia.

De seguida, é avaliado o efeito da **presença de mossas na superfície do aglomerado**. Na Figura 4.29 está representado o perfil primário da zona onde foi provocada a mossa comparativamente a uma sem defeito. Na Figura 4.30 são apresentados os resultados à lupa da zona onde foi provocada a mossa. Pela observação deste perfil primário comparativamente, aos perfis associados às amostras industriais, pode-se concluir que estes são muito semelhantes. Relativamente às análises pela lupa, é possível identificar que existe uma zona de transição onde ocorreu a quebra do papel, representada a vermelho, e que na zona onde existe a falta de material a superfície é brilhante. Assim, estes resultados indicam que este defeito está associado as amostras 4,8 e 9 com origem industrial, tendo-se conseguido replicar o defeito.

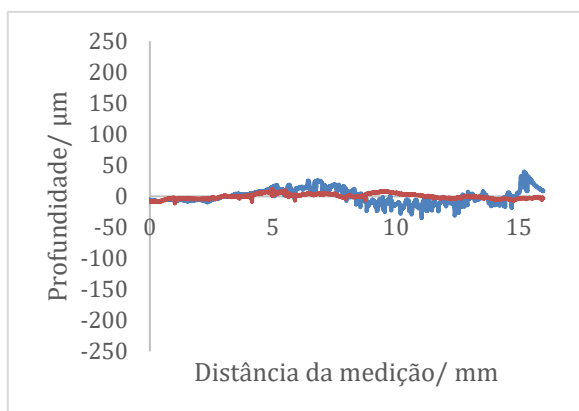


Figura 4.29-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).



Figura 4.30-Imagem à lupa do local da mossa.

Posteriormente, foram realizados ensaios para avaliar o efeito dos **contaminantes na superfície do aglomerado**. Na zona onde foi colocado o papel não se identificou nenhuma falta de qualidade. No local da adição do plástico foi identificada a presença de um defeito. Na Figura 4.31 está representado o perfil primário da zona onde está localizado o plástico comparativamente a uma zona sem defeito. Na Figura 4.32 encontra-se representado as imagens à lupa da zona onde se encontrava o plástico. É possível concluir que o defeito encontrado é muito diferente dos encontrados nas amostras 10 e 11, que se suspeitam poderem estar associadas a contaminantes. Assim e partindo do princípio de que os contaminantes causaram os defeitos em questão, estes teriam de serem incorporados durante o fabrico de forma a fazerem parte do colchão.

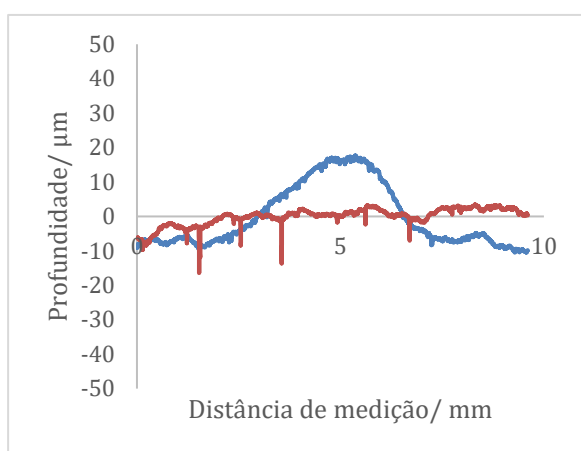


Figura 4.31-Perfil primário da zona com defeito (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).



Figura 4.32-Imagem à lupa do local onde está o plástico.

Por fim, foi também testada a **presença de pó de papel na superfície do aglomerado**. A manipulação do papel ao longo da linha de produção provoca a acumulação de pó de papel na superfície do PB. Assim, foi testada a prensagem do papel decorativo numa superfície com estas características. Analisando os dados recolhidos à lupa e pelo rugosímetro, que são apresentados no Apêndice F, verificou-se que esta condição não provoca defeitos. Para além disso, também foi testado se a **presença do pó de madeira na superfície do aglomerado** provoca a existência de defeitos. Tal como anteriormente, após análises, conclui-se que a presença do pó de madeira não provoca defeito. Os resultados das análises realizadas são apresentados no Apêndice F.

5 Conclusões

O trabalho em questão visa o estudo da tipologia de defeitos encontrados na superfície do aglomerado de partículas. Nesse sentido, o trabalho foi iniciado pela recolha de dados sobre os defeitos industriais e pela escolha de métodos que permitissem estudar os defeitos em questão. Após essa etapa, o objetivo foi testar um conjunto de condições que pretendiam verificar quais as causas dos defeitos que se estudaram anteriormente. Por fim, o objetivo do trabalho não foi somente a identificação das causas dos defeitos em estudo, mas também a validação dos métodos utilizados para a análise das amostras.

Como métodos de análise foram utilizados os perfis primários recolhidos com o rugosímetro, análises da superfície à lupa, a digitalização e a utilização do SEM. Através destas análises, foi possível concluir que o primeiro defeito está associado a pontos onde o revestimento apresenta irregularidades na superfície, o que poderá ter sido provocado pela falta de qualidade do revestimento. Os pontos brilhantes parecem estar associados à falta de revestimento das posições em questão, podendo ser provocados também pela falta de qualidade do revestimento. Por fim, os últimos defeitos em estudo caracterizam-se todos como mossas, mas foram divididos em três categorias pois aparentam ter características diferenciadoras relativamente as restantes. Estes defeitos aparentam estar associados a falta de qualidade da superfície do aglomerado de partículas.

A segunda parte do trabalho, consistiu na simulação dos defeitos a nível laboratorial. Os ensaios realizados podem ser subdivididos em duas categorias: os ensaios de manipulação do papel decorativo e os ensaios de manipulação do aglomerado. Falando em primeiro lugar dos ensaios de manipulação do papel decorativo, a primeira conclusão que foi possível obter foi que a humidade relativa não tem influência na qualidade do papel decorativo. Já os ensaios de envelhecimento do papel, comprovaram que a secagem excessiva do papel leva a uma polimerização excessiva da resina que compromete o seu escoamento, originando por toda a superfície pontos de maior profundidade. Também foi estudado a influência da diminuição do tempo de prensagem, tendo sido concluído que a diminuição leva a que o escoamento da resina seja comprometido, originando zonas de maior profundidade. Por fim, os ensaios de manipulação do teor em resina permitiram verificar que o baixo teor em resina em ambos os banhos e o baixo teor em resina no último banho provocam zonas com muita irregularidade que possuem um padrão e uma profundidade, entre os 10 e os 15 μm , que é muito semelhante aos resultados associados à amostra 1. Estas amostras partilham ainda outra característica em comum, não foram detetadas em SEM. Existe então aqui uma possibilidade de replicabilidade de um dos defeitos industriais.

Avaliando agora os ensaios de manipulação do aglomerado, é em primeiro lugar importante concluir, que a presença de pó de papel ou a presença de pó de madeira não irá afetar negativamente a qualidade do aglomerado de partículas. O ensaio associado à pulverização da água na superfície do aglomerado levou a formação de zonas com maior profundidade na superfície, pois a presença da água deve comprometer o escoamento da resina. Já a presença de ureia na superfície do aglomerado leva a formação de picos na superfície, associados à acumulação desta substância, que possuem uma cor amarelada. A remoção de material na superfície do aglomerado criou uma moessa com uma dimensão significativa que tem características em comum com as amostras 4,8 e 9. Todas as amostras, apresentam na zona com maior profundidade, um aspeto brilhante e na zona de transição, a quebra do papel decorativo. Por último, realizou-se uma avaliação do efeito da presença de plástico na superfície do aglomerado verificando-se a formação de um pico associado a zona onde está o contaminante.

Por último, é possível discutir a qualidade dos métodos usados para o estudo dos defeitos. Os perfis primários obtidos com o rugosímetro foram o método que obteve resultados mais consistentes. Através da avaliação dos perfis primários foi possível distinguir todos os defeitos, tendo cada um deles características específicas. A lupa é uma ótima forma de avaliar defeitos de maior dimensão. Os resultados não são tão conclusivos em defeitos de pequena dimensão como os defeitos associados ao envelhecimento do papel e diminuição do tempo de prensagem. As análises de SEM foram um bom complemento quando as análises à lupa não apresentaram resultados conclusivos, mas porque as amostras têm de ser cobertas com ouro, defeitos que se caracterizam por manchas não são detetados nestas análises. Exemplos disso mesmo são a amostra 1 com origem industrial e os defeitos associados a manipulação do teor em resina. Neste tipo de defeitos, a digitalização pode ser utilizada no sentido de reforçar os resultados que são obtidos pelas análises à lupa. É também importante destacar que os ensaios ao papel impregnado, como o *B-stage* e *VC*, foram uma excelente forma de prever que amostras iriam originar defeito.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

O primeiro objetivo do trabalho envolveu a análise das amostras com origem industrial. Dessa análise foram identificados cinco tipos diferentes de defeitos: manchas escuras que foram associadas a problemas do revestimento, pontos brilhantes que também foram associados a problemas do revestimento e um variado conjunto de mossas que estarão associados a problemas na superfície do aglomerado de partículas. Apesar de todas se classificarem como mossas, é possível distinguir três tipos diferentes que deverão ser provocados por condições distintas.

O segundo objetivo do trabalho foi a simulação de defeitos de forma a tentar identificar as causas dos defeitos associados as amostras industriais. Dos 5 tipos de defeitos identificados a nível industrial, pensa-se ter encontrado a causa de dois tipos de defeitos.

Por fim, é possível avaliar quais os métodos que tiveram mais sucesso na análise das amostras. O perfil primário obtido pelo rugosímetro mostrou-se como o melhor método para o estudo das superfícies e dos defeitos analisados. As análises à lupa mostraram-se muito eficazes no estudo dos defeitos de maior dimensão. A qualidade dos dados recolhidos em amostras de menor dimensão, como é o caso dos defeitos associados ao envelhecimento do papel, não é a melhor. As imagens de SEM são uma excelente técnica no estudo de defeitos de menor dimensão, mas apresentam limitações no estudo de manchas devido ao revestimento de ouro aplicado para a realização do teste. Os ensaios de *B-stage* e *VC* foram uma importante ferramenta no estudo do papel decorativo e foram capazes de prever que amostras evidenciariam defeitos.

6.2 Limitações e trabalho futuro

Na realização do trabalho existiram algumas limitações, pois a conjectura de pandemia mundial limitou o número de horas disponíveis de trabalho laboratorial.

A realização de análises nas amostras com origem industrial permitiu a identificação de alguns defeitos. Apesar disso, em futuros trabalhos, a análise de mais amostras com origem industrial poderá identificar a presença de mais defeitos pois o número de amostras analisadas neste trabalho foi limitado.

Relativamente aos ensaios de simulação de defeitos, conseguiram-se encontrar dois possíveis casos de replicabilidade. Apesar disso, estudaram-se outras condições que provocaram defeitos que, apesar de não terem sido identificados industrialmente, podem ser possíveis.

Pensando nos três defeitos industriais cuja causas para a falta de qualidade não foram identificadas, ensaios que testem a presença de contaminantes e locais de maior humidade no colchão serão importantes. Em trabalhos futuros, será também importante estudar a influência do tipo de resina impregnada no papel decorativo. Para papéis decorativos impregnados no 1º banho com resina UF, e nas mesmas condições de teor em resina que as que provocaram defeitos no trabalho em questão, estão identificados outro tipo de defeitos que os obtidos no trabalho realizado e que têm semelhanças ao defeito associado à amostra 2.

Fazendo uma análise aos métodos utilizados, foi possível concluir que os ensaios com o rugosímetro e os ensaios de *B-stage* e *VC* foram muito eficazes. Os outros métodos possuem limitações, mas são úteis no estudo das superfícies.

6.3 Apreciação Final

Os objetivos do trabalho foram cumpridos de forma parcial. Através da análise das amostras industriais, foram identificados alguns defeitos. Os ensaios de simulação conseguiram identificar um conjunto de condições que provocaram a falta de qualidade da superfície do aglomerado. Para além disso, foram também identificadas duas possíveis condições de replicabilidade dos defeitos industriais. As análises realizadas na superfície do aglomerado permitiram identificar um conjunto de métodos que têm potencialidade na identificação dos defeitos.

7 Referências

- [1] M. Irle, M. C. Barbu, «Wood-based panel technology», em Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists, Ch. 1, pp. 1-94, 2010.
- [2] A. Pizzi, «Wood and fiber panel technology», em Research Developments in Wood Engineering and Technology, Ch. 2, pp. 46-89, 2013.
- [3] NP EN 13986:2004+A1:2008, «Placas de derivados de madeira para utilização na construção: Características, avaliação da conformidade e marcação», IPQ.
- [4] NP EN 309:2015, «Wood particleboards: Definition and classification», IPQ.
- [5] L. M. P. Santos, «Análise da Problemática das Emissões de Formaldeído a partir do Aglomerado de Partículas de Madeira», Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2014.
- [6] M. C. Barbu, R. Reh, M. Irle, «Wood-based composites», em Research Developments in Wood Engineering and Technology, Ch.1, pp. 1-45, 2013.
- [7] W. B. P. International, «New capacity coming», 2018. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wbpionline.com/features/new-capacity-coming-6843829/>. [Acedido: 24-Jun-2020].
- [8] S. ARAUCO, «Empresa:Quem somos», 2020. [Em linha]. Disponível em: https://www.sonaearauco.com/pt/empresa/quem-somos_2455.html. [Acedido: 03-Mar-2020].
- [9] R. Alvim, «EuroResinas:O ambiente na zilis», 2016. [Em linha]. Disponível em: https://www.globalparques.pt/folder/galeria/ficheiro/58_Apresentação Euroresinas - O Ambiente na ZILS - 2016.11.08 VF_hyutr6b4sm.pdf?fbclid=IwAR23TZq9UezTU-XRagVc9_3TPBhN3p4lI8OKPlfKmrZ2biOYWhE38jQXlM. [Acedido: 03-Mar-2020].
- [10] L. M. H. Carvalho, «Estudo da Operação de Prensagem do Aglomerado de Fibras de Média Densidade (MDF)», Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, 1999.
- [11] P. Sá, «Manual de utilização de derivados da madeira: influência das condições de maquinação na qualidade da aresta», Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, 2013.
- [12] T. M. Maloney, «Modern Particleboard & Dry-process Fiberboard Manufacturing», pp 1-672, 1989.
- [13] BANEMA, «Aglomerado Standart». [Em linha]. Disponível em: <https://www.banema.pt/pt/produtos/paineis-de-madeira/aglomerado/aglomerado-standard/>. [Acedido: 30-Abr-2020].
- [14] NP EN 312:2017, «Aglomerado de partículas de madeira: Especificações», IPQ.

- [15] P. C. O. R. Almeida, «Estudo da influência da temperatura e do tempo de prensagem nas características físico mecânicas, de diferentes tipos de MDF aquando do seu revestimento por prensagem», Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, 2006.
- [16] B. Lesar, M. Humar, G. Hora, «Quality assessment of recycled wood with and without non-wooden materials from selected recycling companies in Europe», *Waste Manag.*, vol. 79, pp. 362-373, 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.08.002.
- [17] G. Faraca, A. Boldrin, T. Astrup, «Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling», *Waste Manag.*, vol. 87, pp. 135-147, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.02.005.
- [18] F. J. C. Silva, «Caracterização de Resinas de Ureia-Formaldeído», Tese de mestrado, Universidade do Porto, 2008.
- [19] J. M. M. Ferra, «Optimization of Urea-Formaldehyde resins for the manufacture of wood-based panels», Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, 2010.
- [20] N. T. N. de Paiva, «Desenvolvimento de uma resina ureia- formaldeído de baixa emissão de formaldeído fortificada com melamina», Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 2010.
- [21] J. A. Youngquist, «Wood-based Composites and Panel Products», em *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*, Ch.10, pp. 1-32, 1986.
- [22] C. Washington, S. Bay, R. Ice, «Wood composition board», em *Handbook of composite reinforcements*, Ch.50, pp. 656-667, 2012.
- [23] M. Dunky, «Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood», *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 18, pp. 95-107, 1998, doi: 10.1016/S0143-7496(97)00054-7.
- [24] L. F. Zhao, Y. Liu, Z. D. Xu, Y. Z. Zhang, F. Zhao, S. B. Zhang, «State of research and trends in development of wood adhesives», *For. Stud. China*, vol. 13, pp. 321-326, 2011, doi: 10.1007/s11632-013-0401-9.
- [25] Z Z. Que, T. Furuno, S. Katoh, e Y. Nishino, «Effects of urea-formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard», *Build. Environ.*, vol. 42, pp. 1257-1263, 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.11.028.
- [26] N. T. Paiva et al., «Production of Melamine Fortified Urea-Formaldehyde Resins with Low Formaldehyde Emission», *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 124, pp. 2311-2317, 2012, doi: 10.1002/app.35282.
- [27] F. A. Kamke, M. F. Hamza, «Wood: Nonstructural Panel Processes», em *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, pp. 9673-9678, 2001.

- [28] S. Bardak, B. Sar, G. Nemli, H. Kuiric, e M. Baharoğlu, «The effect of decor paper properties and adhesive type on some properties of particleboard», *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 31, n. 6, pp. 412-415, 2011, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2011.02.008.
- [29] R. Z. Raia, T. S. da Rosa, A. P. N. da Fonte, «Painéis de madeira: Da matéria-prima ao acabamento», pp. 1-26, 2017.
- [30] R. J. Roberts, P. D. Evans, «Effects of manufacturing variables on surface quality and distribution of melamine formaldehyde resin in paper laminates», *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 36, pp. 95-104, 2005, doi: 10.1016/j.compositesa.2003.05.001.
- [31] W. Lewis, «Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials», em *Wood Engineering Handbook*, Ch.22, pp.1-13, 1967.
- [32] A. Ashori, A. Nourbakhsh, «Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials», *Ind. Crops Prod.*, vol. 28, pp. 225-230, 2008, doi: 10.1016/j.indcrop.2008.02.015.
- [33] G. Nemli, I. Aydin, E. Zeković, «Evaluation of some of the properties of particleboard as function of manufacturing parameters», *Mater. Des.*, vol. 28, pp. 1169-1176, 2007, doi: 10.1016/j.matdes.2006.01.015.
- [34] M. C. Barbu, J. Hasener, G. Bernardy, «Modern testing of wood-based panels, process control, and modeling», em *Research Developments in Wood Engineering and Technology*, Ch.3, pp. 90-130, 2013.
- [35] G. Nemli, I. Ozturk, I. Aydin, «Some of the parameters influencing surface roughness of particleboard», *Build. Environ.*, vol.40, pp.1337-1340, 2005, doi: 10.1016/j.buildenv.2004.12.008.
- [36] M. Knorz, E. Neuhaeuser, S. Torno, J. W. Van De Kuilen, «Influence of surface preparation methods on moisture-related performance of structural hardwood-adhesive bonds», *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 57, pp. 40-48, 2015, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2014.10.003.
- [37] C. L. Coelho et al., «Method for evaluating the influence of wood machining conditions on the objective characterization and subjective perception of a finished surface», *Wood Sci. Technol.*, vol. 42, pp. 181-195, 2008, doi: 10.1007/s00226-007-0166-1.
- [38] M. Sedlecký, «Surface roughness of medium-density fiberboard (MDF) and edge-glued panel (EGP) after edge milling», *BioResources*, vol.12, pp.8119-8133, 2017, doi: 10.15376/biores.12.4.8119-8133.
- [39] C. Coelho, N. Garrido, J. Martins, L.H. Carvalho, C. Costa, «Wood and Wood based panels Machining Quality», em *Wood Machining*, Ch.2, pp.27-82, 2011.

- [40] C. A. Aguilera, C. Aguilera, A. D. Sappa, «Melamine Faced Panels Defect Classification beyond the Visible Spectrum», *Sensors (Basel)*., vol.18, pp.1-10, 2018, doi: 10.3390/s18113644.
- [41] C. Wang, Y. Liu, e P. Wang, «Extraction and detection of surface defects in particleboards by tracking moving targets», *Algorithms*, vol.12, pp.1-15, 2019, doi: 10.3390/a12010006.
- [42] E. Vasendina, I. Plotnikova, L. Red'Ko, N. Zyablova, «Study of types of defects in wood chipboard production», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 81, pp.1-8, 2015, doi: 10.1088/1757-899X/81/1/012070.
- [43] J. Guzaitis, A. Verikas, «An efficient technique to detect visual defects in particleboards», *Informatica*, vol. 19, pp. 363-376, 2008.
- [44] NP EN 313-2:2010, «Contraplado Classificação e Terminologia Parte 2: Terminologia», IPQ.
- [45] Y. Fujiwara, Y. Fujii, Y. Sawada, S. Okumura, «Development of a parameter to reflect the roughness of a wood surface that corresponds to tactile roughness: A novel filter to exclude local valley effects», *Holz als Roh - und Werkst.*, vol. 59, pp. 351-355, 2001, doi: 10.1007/s001070000161.
- [46] NP EN ISO 4287:2011, «Especificações geométricas de produtos (GPS) Textura de superfície: Método do perfil Termos, definições e parâmetros de textura de superfície», IPQ.
- [47] Q. Feng et al., «Observation and analysis of gypsum particleboard using SEM», *Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.*, vol. 22, pp. 44-47, 2007, doi: 10.1007/s11595-005-1044-z.
- [48] J. D. Napier, «Liquid penetration into paper», Tese de Doutorado, Universidade Nacional Australiana, 2004.
- [49] M. Gonçalves, «Desenvolvimento de uma resina de impregnação que permita a produção de um termolaminado anti-fingerprint», Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 2016.
- [50] D. Rigg, B. Siwanowicz, «Using the B-stage test to guide the production of impregnated low pressure laminate paper», em *European Laminates Conference*, pp. 23-34, 2008.

Apêndice A - Composição elementar das amostras industriais

Aqui são apresentados os resultados das análises realizadas à composição química das amostras industriais.

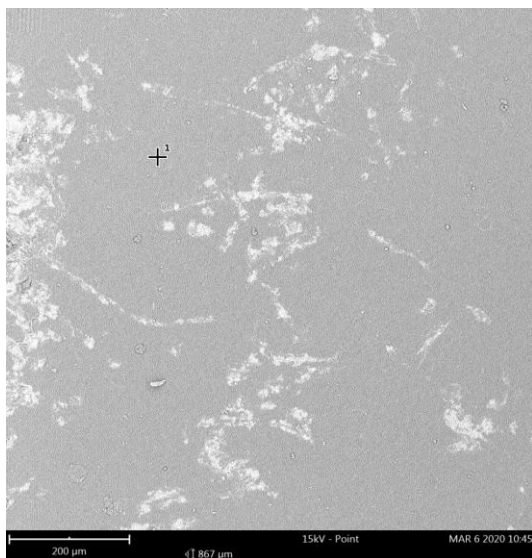


Tabela A.1-Composição química da zona analisada na Figura A.1.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
N	Azoto	42,48
C	Carbono	35,68
O	Oxigénio	21,21

Figura A.1-Imagem de SEM de uma zona sem defeito da amostra 1.

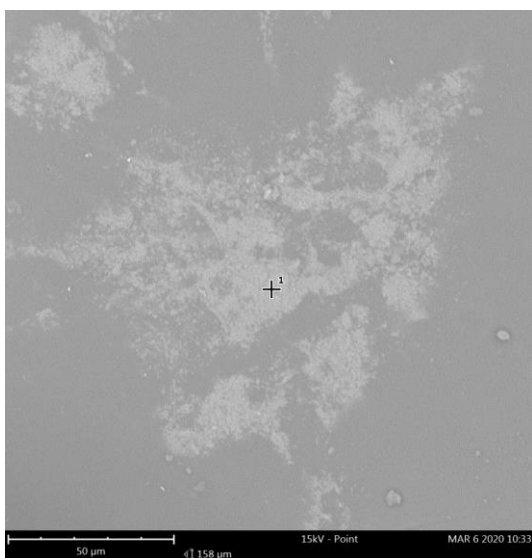


Tabela A.2-Composição química da zona analisada na Figura A.2.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
O	Oxigénio	54,56
C	Carbono	30,37
Ti	Titânio	15,07

Figura A.2-Imagem de SEM de uma zona sem defeito da amostra 1.

Os resultados apresentados na Tabela A.1 e A.2 são referentes à amostra 1 numa zona em que não existe defeito. Tal como já referido anteriormente, verifica-se que as diferenças encontradas se concentram essencialmente na presença do titânio nas zonas brancas, composto associado ao dióxido de titânio que é adicionado como pigmento aos painéis brancos.

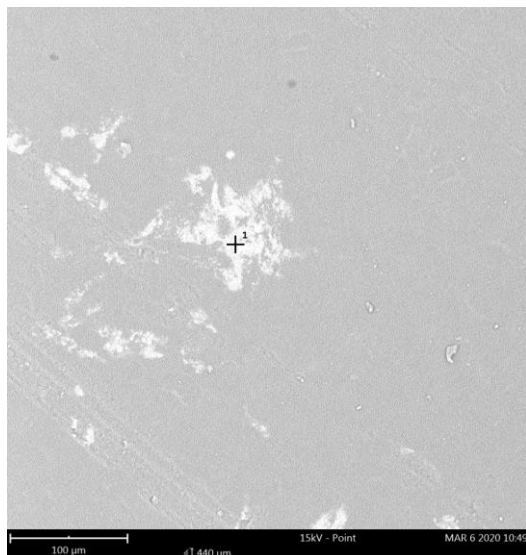


Figura A.3-Imagem de SEM de uma zona com defeito da amostra 1.

Tabela A.3-Composição química da zona analisada na Figura A.3.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
O	Oxigênio	50,23
C	Carbono	28,79
Ti	Titânio	18,93
Al	Alumínio	2,06

Como é possível verificar a composição química associada à amostra 1 numa zona com defeito é muito semelhante a composição química numa zona sem defeito da mesma amostra.

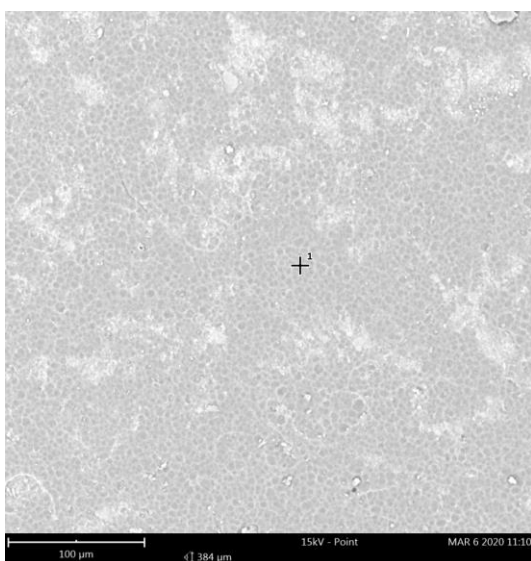


Figura A.4-Imagem de SEM de uma zona sem defeito da amostra 3.

Tabela A.4-Composição química da zona analisada na Figura A.4.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
N	Azoto	48,32
C	Carbono	34,88
O	Oxigênio	16,80

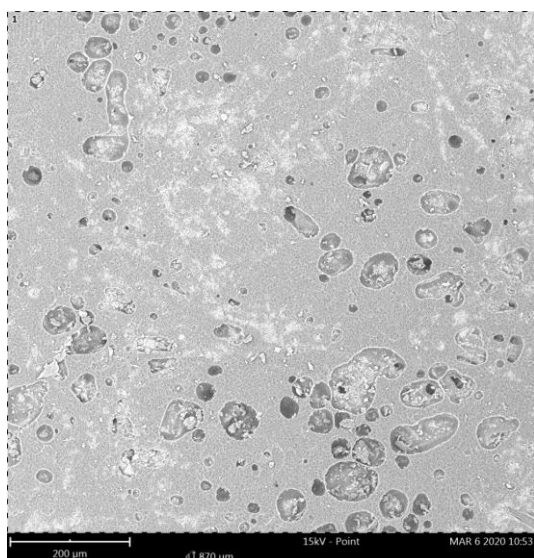


Tabela A.5-Composição química da zona analisada na Figura A.5.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
N	Azoto	46,97
C	Carbono	32,53
O	Oxigénio	19,39

Figura A.5-Imagem de SEM de uma zona com defeito da amostra 2.

Avaliando os resultados dos ensaios à composição química das amostras 2 e 3, verifica-se que estes são semelhantes e assim o defeito não se deverá a presença de alguma substância.

Apêndice B - Perfis primários das mossas

Nesta secção são apresentados os perfis primários das amostras que apresentam mossas na sua superfície. Vão ser apresentados os perfis das amostras 4,5,6,7,9 e 11, pois os restantes estão presentes nos Resultados e Discussão.

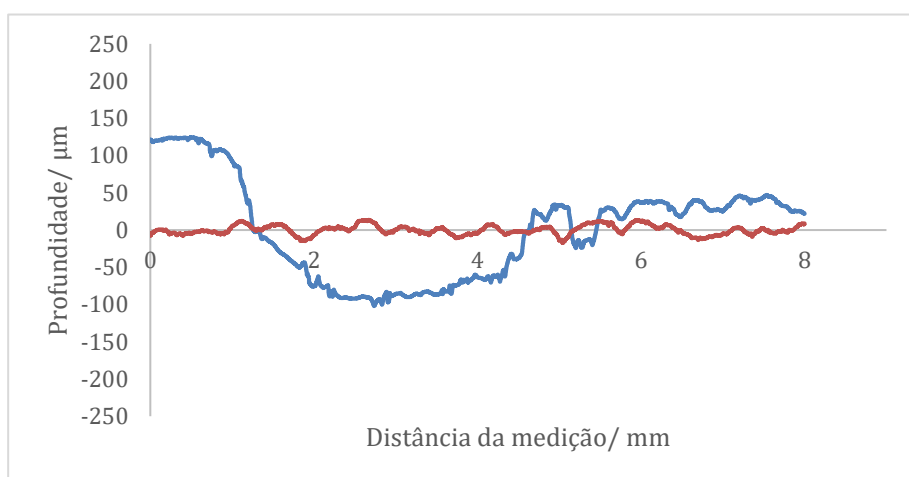


Figura B.1-Perfil primário da zona com defeito na amostra 4 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

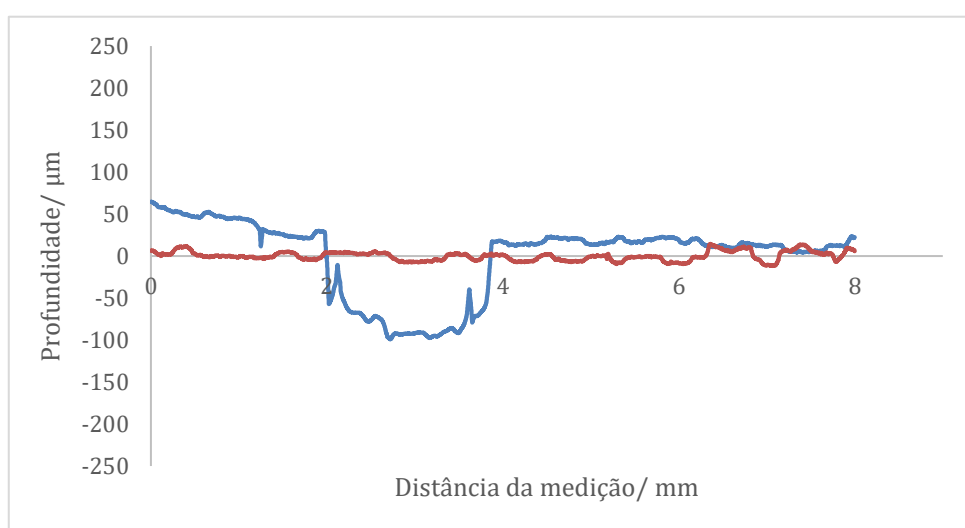


Figura B.2-Perfil primário da zona com defeito na amostra 5 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

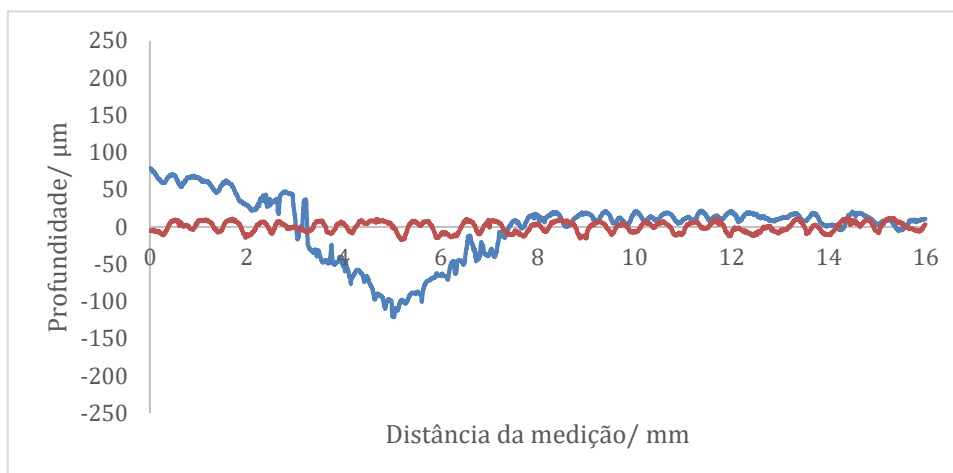


Figura B.3-Perfil primário da zona com defeito na amostra 6 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

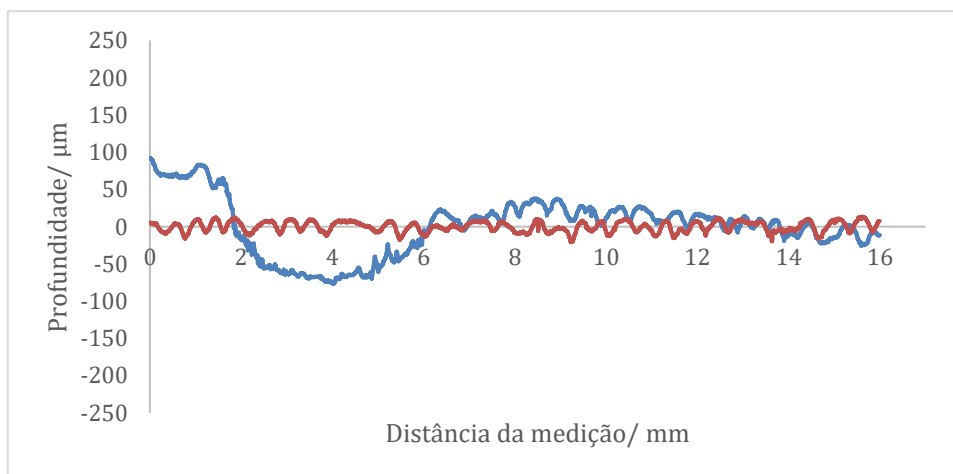


Figura B.4-Perfil primário da zona com defeito na amostra 7 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

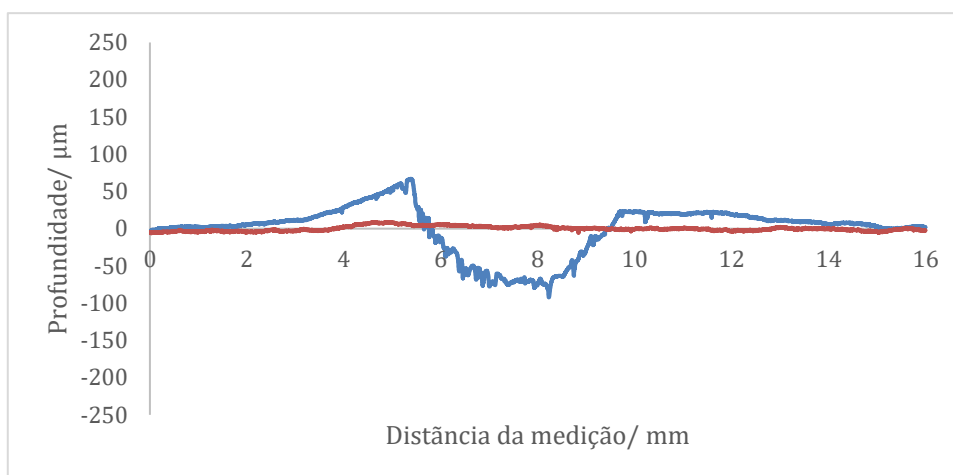


Figura B.5-Perfil primário da zona com defeito na amostra 9 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

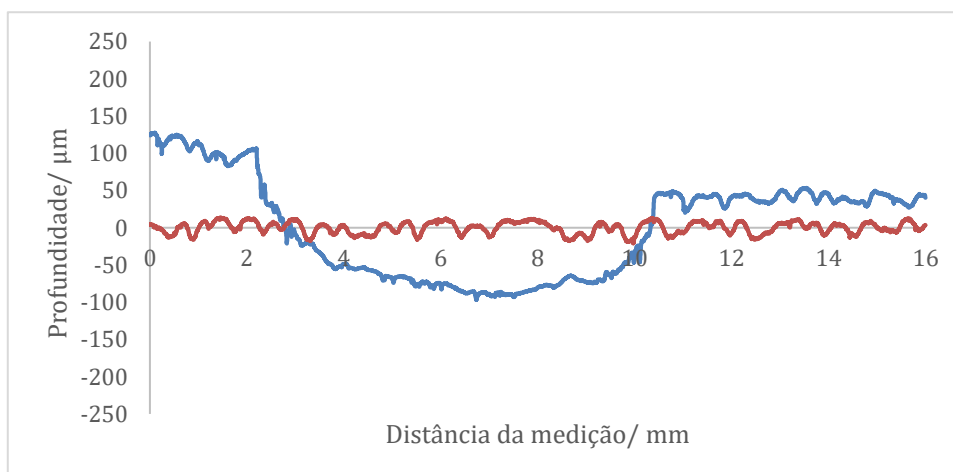


Figura B.6-Perfil primário da zona com defeito na amostra 11 (linha azul) comparativamente a uma zona sem defeito na mesma amostra (linha vermelha).

Apêndice C - Composição elementar das amostras de simulação

Aqui são apresentados os dados recolhidos das análises à composição química das amostras de simulação.

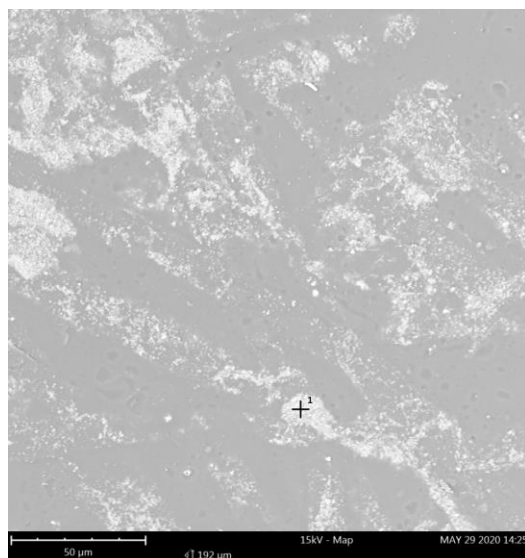


Figura C.1-Imagem de SEM de papel standard com origem industrial.

Tabela C.1-Composição química da zona analisada na Figura C.1.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
O	Oxigênio	53,82
C	Carbono	25,36
Ti	Titânio	18,33
Al	Alumínio	2,49

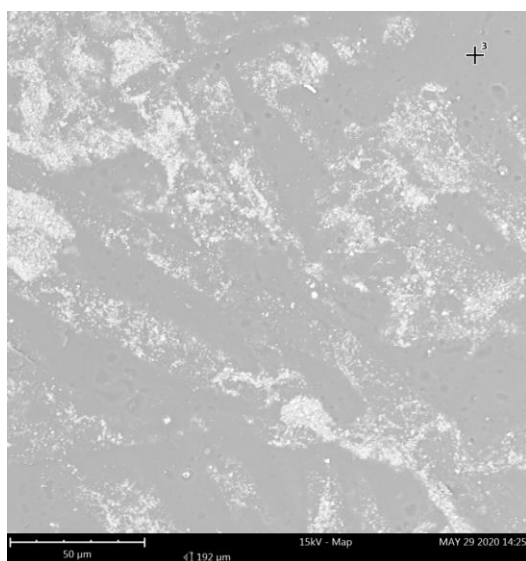


Figura C.2-Imagem de SEM de papel standard com origem industrial.

Tabela C.2-Composição química da zona analisada na Figura C.2.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
C	Carbono	48,33
N	Azoto	27,84
B	Boro	21,22
O	Oxigênio	2,61

Analisando os dados obtidos para o papel standard, é possível concluir que em termos de composição química as zonas com manchas brancas distinguem-se da restante amostra pela presença do titânio. Posteriormente, é apresentada a análise da composição química da amostra com papel envelhecido 120 s.

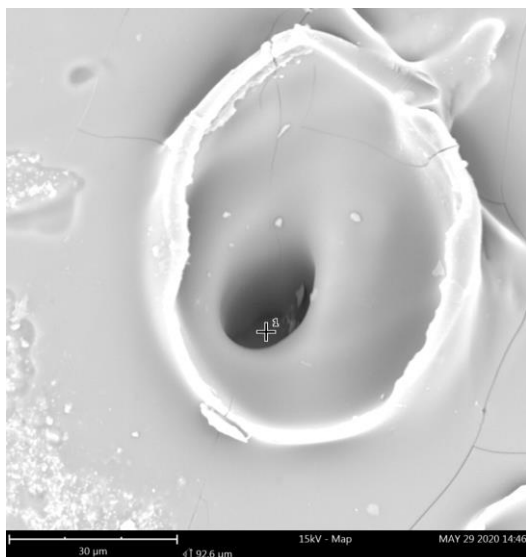


Tabela C.3-Composição química da zona analisada na Figura C.3.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
C	Carbono	51,38
B	Boro	41,82
O	Oxigênio	4,73
Ti	Titânio	2,08

Figura C.3-Imagem de SEM da amostra do papel envelhecido 120 s.

Avaliando os resultados das análises da composição química da amostra envelhecida 120 s não se verificou a presença de nenhuma substância do que aquelas já detetadas anteriormente, tanto nas amostras industriais como nas de simulação. De seguida, é apresentado os dados da análise da composição química da amostra 1 dos ensaios de manipulação do teor em resina.

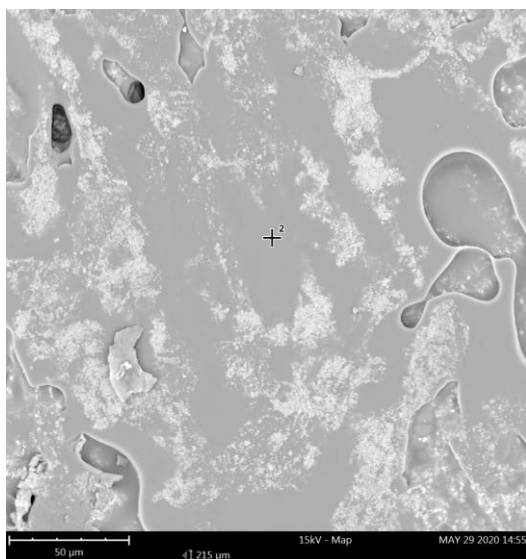


Tabela C.4-Composição química da zona analisada na Figura C.4.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
C	Carbono	54,43
B	Boro	22,77
N	Azoto	20,94
O	Oxigênio	1,86

Figura C.4-Imagem de SEM da amostra 1 dos ensaios de manipulação do teor em resina.

Fazendo uma avaliação geral dos resultados obtidos, a composição química é muito semelhante a encontrada em todas as amostras analisadas. Por último, são analisados os resultados da análise da composição química da amostra 3 dos ensaios de manipulação do teor em resina.

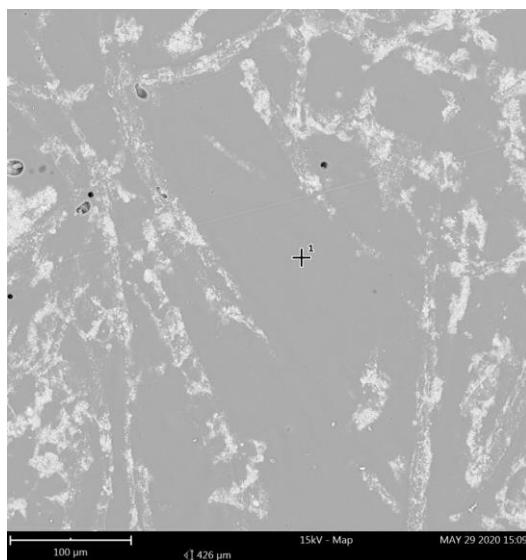


Tabela C.5-Composição química da zona analisada na Figura C.5.

Símbolo químico	Nome do elemento químico	Concentração atômica
C	Carbono	54,01
N	Azoto	22,41
B	Boro	21,68
O	Oxigênio	1,90

Figura C.5-Imagem de SEM da amostra 3 dos ensaios de manipulação do teor em resina.

Tal como em todas as outras amostras a composição química é muito semelhante as outras amostras analisadas. Nas amostras 1 e 3 da manipulação do teor em resina, apesar dos

dados não serem apresentados, nas zonas das manchas brancas existe também a presença do titânio, tal como nas outras amostras.

Apêndice D - Ensaios na câmara climática

Relativamente aos ensaios realizados na câmara climática, foram testadas duas condições distintas. Em primeiro lugar, testou-se a humidade relativa de 45 % a uma temperatura de 20 °C. Tal como foi realizado em outras amostras a mudança de características foi seguida através dos parâmetros *B-stage* e *VC*. Na Tabela D.1 estão presentes os valores de *B-stage* e *VC* associados à primeira condição testada. Analisando os dados apresentados na Tabela D.1 pode-se concluir que não existiram mudanças significativas no papel decorativo.

Tabela D.1-Valores de B-stage e VC associados a condição de humidade relativa de 45 %.

Tempo (h)	<i>B-stage</i> (%)	Teor de voláteis (%)
0	26,1	6,2
1	23,3	6,2
72	24,9	6,9

Para corroborar o que foi concluído acima, foram realizadas análises com o rugosímetro e à lupa. Na Figura D.1 é apresentado o perfil primário das amostras em análise. Na Figura D.2 são apresentadas as imagens das análises à lupa das amostras em questão.

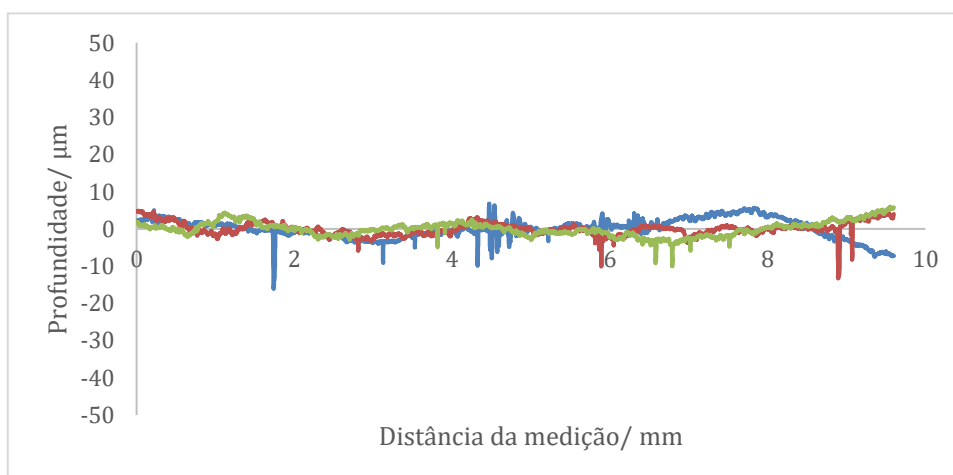


Figura D.1-Perfil primário do papel standard (linha verde) comparativamente com o do papel na câmara durante 1 h (linha azul) e com o papel na câmara 3 dias (linha vermelha).

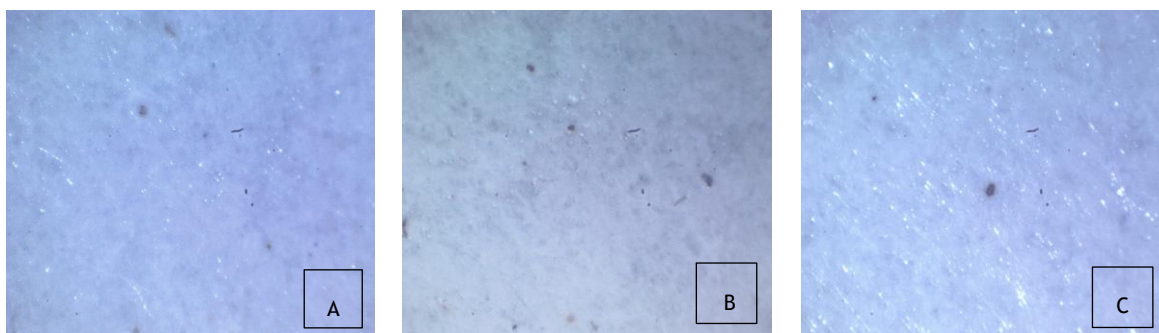


Figura D.2-Imagens à lupa sendo que imagem A está associada ao papel standard, a imagem B à amostra que esteve na câmara 1 h e a imagem C à amostra que esteve na câmara 3 dias.

Fazendo uma análise final dos resultados obtidos é possível concluir que todos corroboram a não existência de mudanças no papel decorativo.

De seguida foi testada a segunda condição, que consiste numa humidade relativa de 85 % a uma temperatura de 20 °C. Na Tabela D.2 estão presentes os valores de *B-stage* e *VC* associados a segunda condição testada. Apesar de existirem mudanças nos parâmetros analisados, eles mantêm-se dentro do intervalo aceitável.

Tabela D.2-Valores de B-stage e VC associados a condição de humidade relativa de 85 %.

Tempo (h)	<i>B-stage</i> (%)	Teor de voláteis (%)
0	26,1	6,2
1	30,9	8,2
2	31,9	8,9
96	59,3	10,9

No sentido de verificar a presença ou não de defeitos, foram realizadas análises com o rugosímetro e à lupa. Na Figura D.3 é apresentado o perfil primário das amostras em análise. Na Figura D.4 e D.5 são apresentadas as imagens das análises à lupa das amostras em questão.

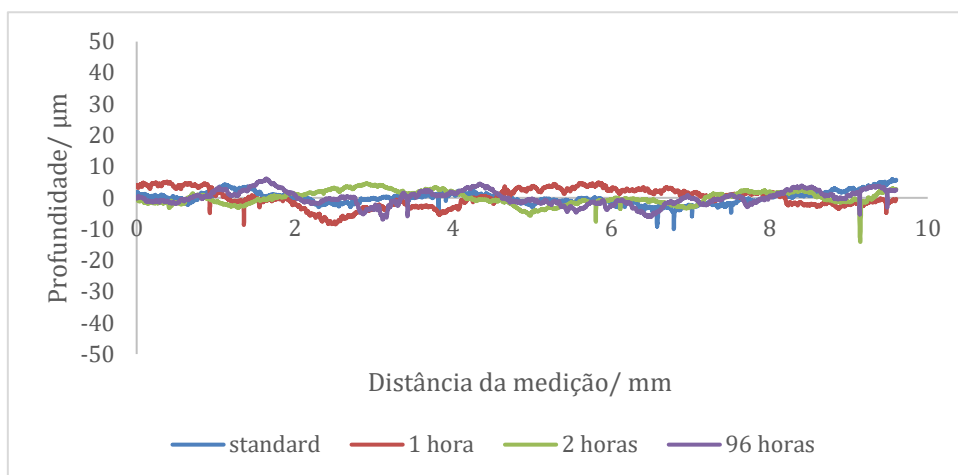


Figura D.3-Perfis primários das amostras colocadas na câmara climática a uma humidade relativa de 85 %.

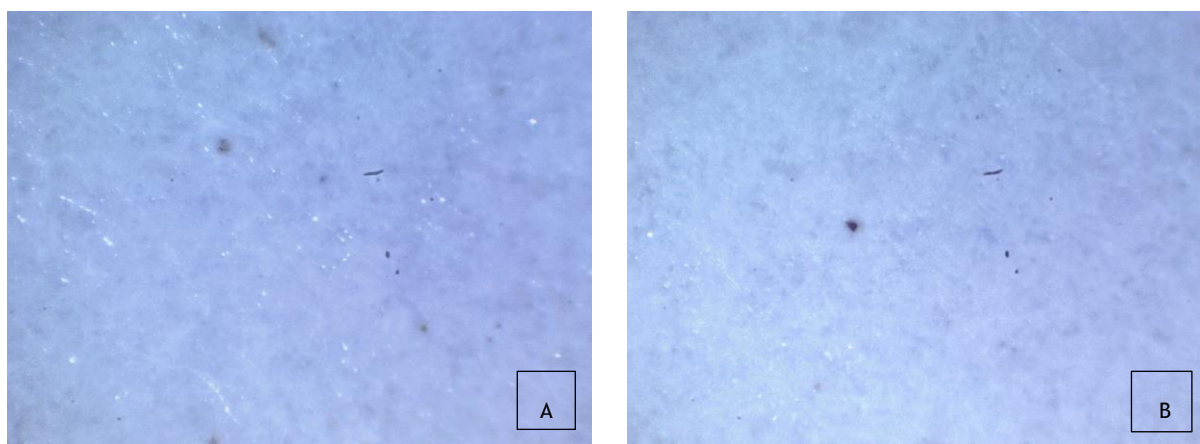


Figura D.4-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard e a imagem B ao papel que esteve na câmara climática durante 1 h.

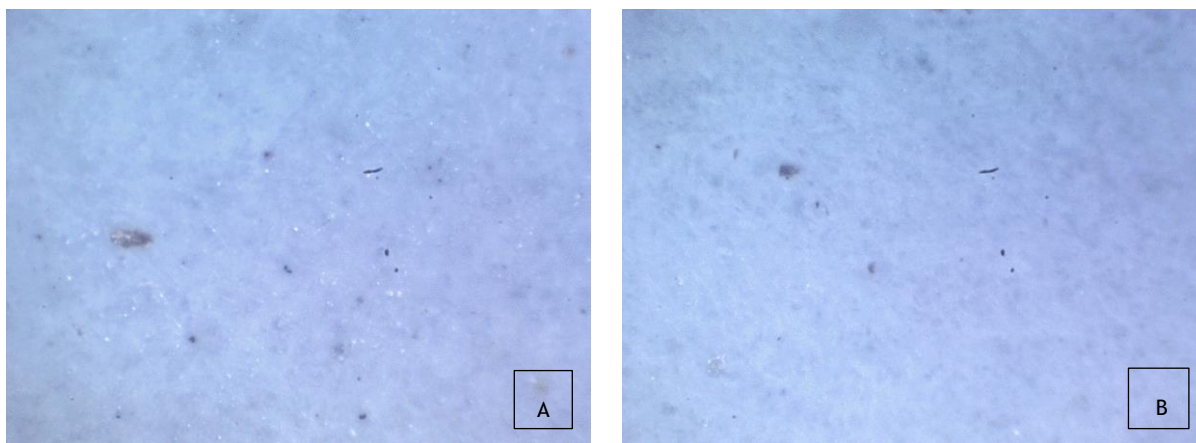


Figura D.5-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel que esteve na câmara climática durante 2 h e a imagem B ao papel que esteve na câmara 4 dias.

Apêndice E - Ensaios de manipulação do teor em resina

Aqui são apresentados os restantes resultados das amostras de manipulação do teor em resina que reproduziram defeito. Em primeiro lugar, são apresentados os perfis primários associados as amostras 2,4,7 e 8. Assim na Figura E.1 até a Figura E.4 estão apresentados os perfis respetivamente das amostras 2,4,7 e 8. Também são apresentados os resultados das análises à lupa das amostras 4 e 8. As imagens dessas análises são apresentadas na Figura E.5.

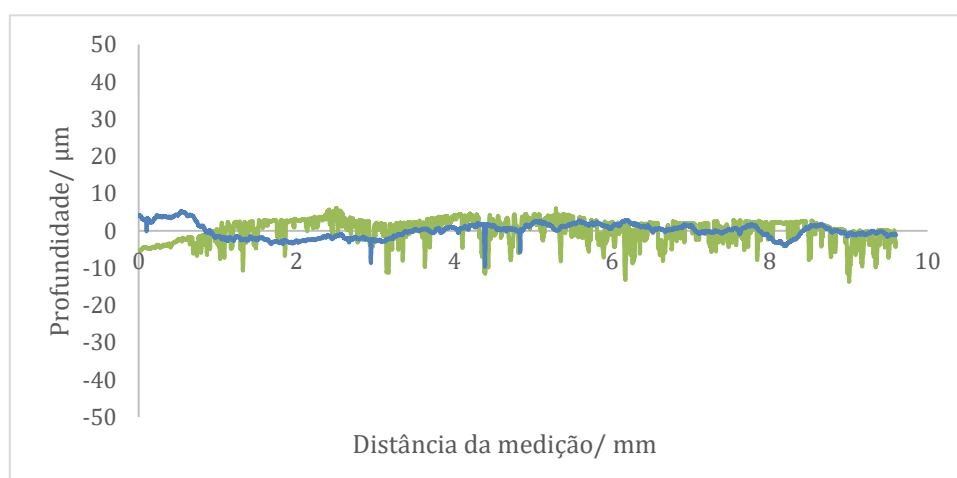


Figura E.1-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 2 (linha verde).

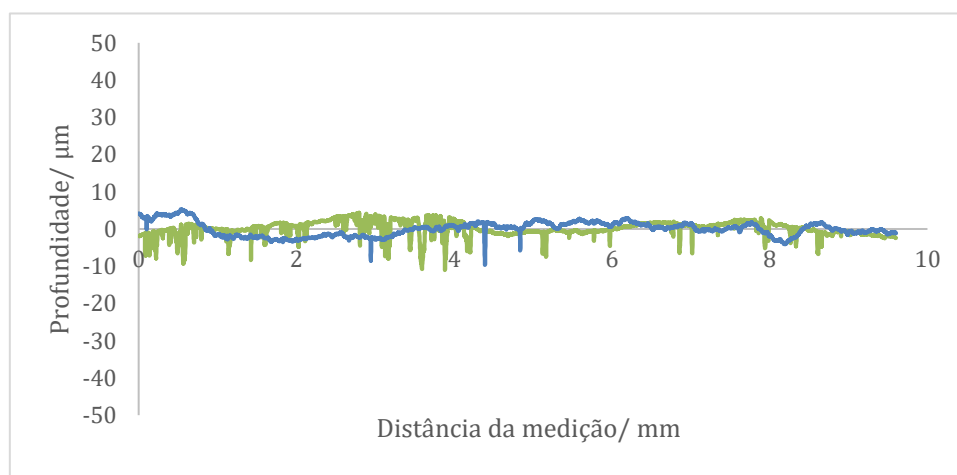


Figura E.2-Perfis primários da amostra padrão 1(linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 4 (linha verde).

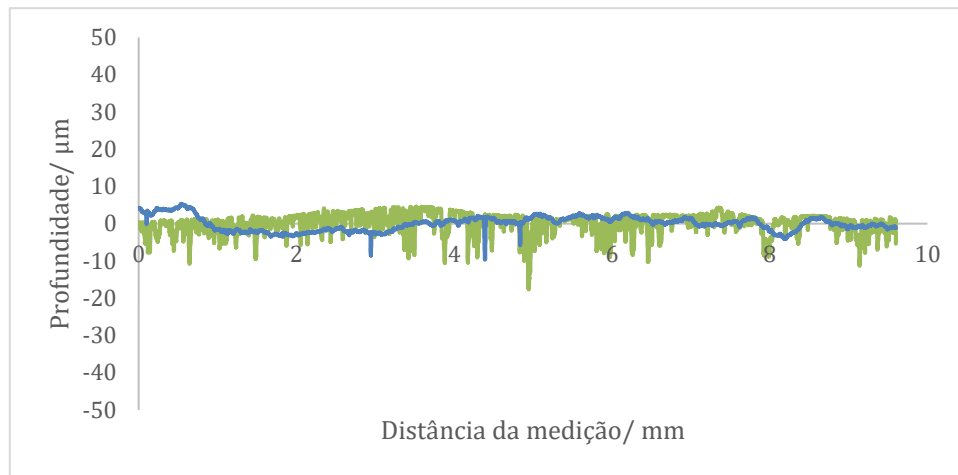


Figura E.3-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 7 (linha verde).

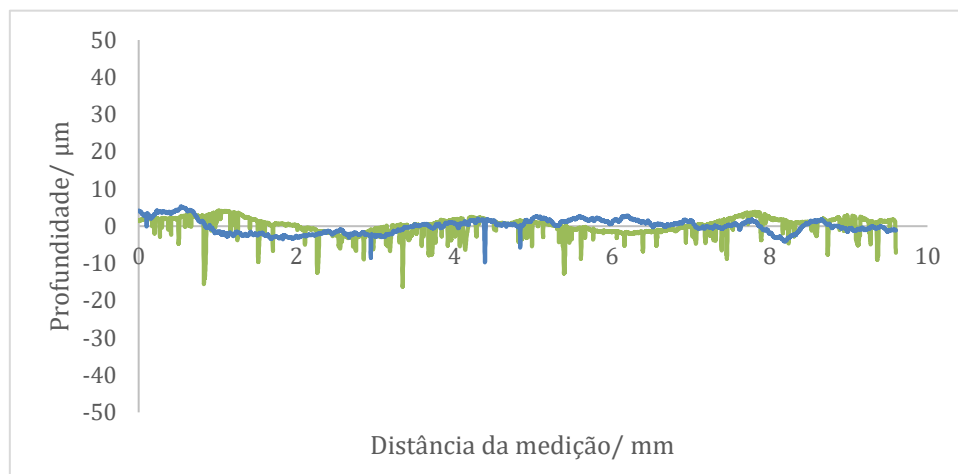


Figura E.4-Perfis primários da amostra padrão 1 (linha azul) comparativamente a uma zona com defeito da amostra 8 (linha verde).

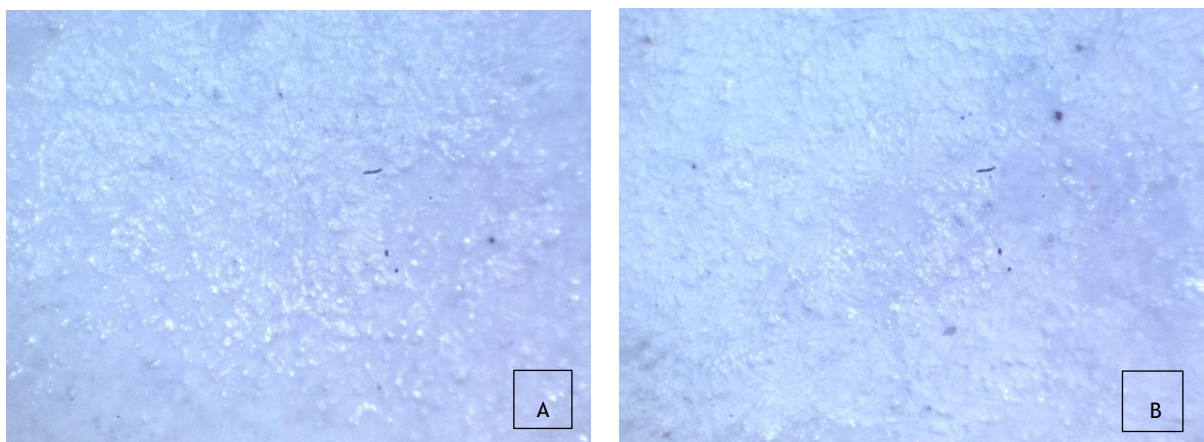


Figura E.5-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada à amostra 4 e a imagem B à amostra 8.

Apêndice F - Ensaios associados ao pó de papel e ao pó de madeira

Aqui são apresentados os resultados das análises das amostras com pó de papel e com pó de madeira na superfície do aglomerado. Na Figura F.1 são representados os perfis primários dessas duas amostras comparativamente ao perfil associado a uma amostra onde não se realizaram ensaios.

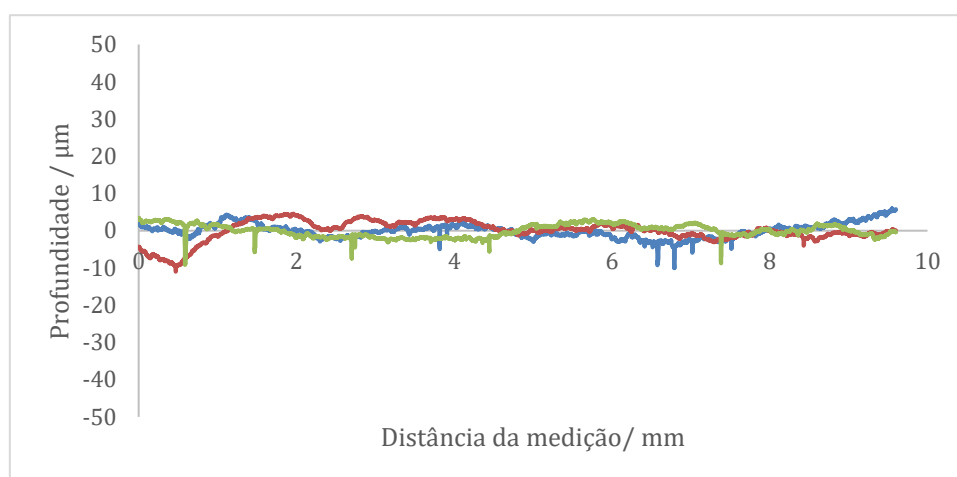


Figura F.1-Perfis primários do papel standard (linha azul) comparativamente as amostras com pó de papel na superfície (linha vermelha) e pó de madeira na superfície (linha verde).

Para além disso são também apresentados os resultados das análises com a lupa. Na Figura F.2 é apresentada uma imagem da amostra com pó de papel na superfície do aglomerado comparativamente com uma imagem de uma amostra standard. Na Figura F.3 é apresentada uma imagem da amostra com pó de madeira na superfície comparativamente com uma imagem de uma amostra normal.

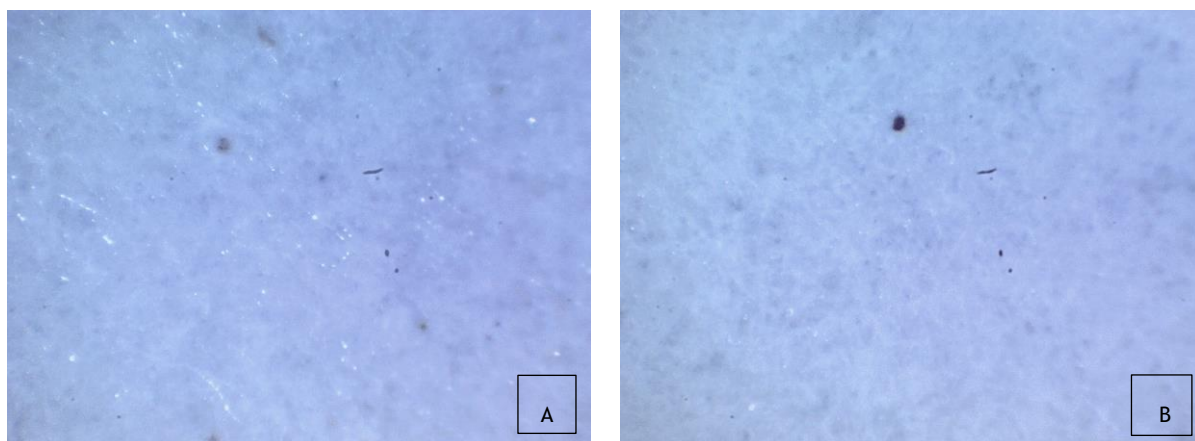


Figura F.2-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard e a imagem B à amostra com pó de papel na superfície.

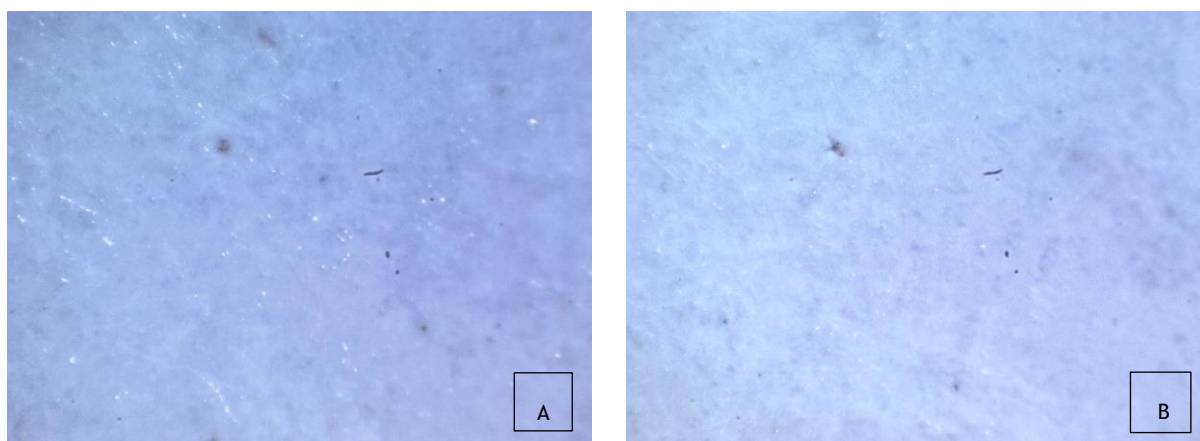


Figura F.3-Imagens à lupa sendo que a imagem A está associada ao papel standard e a imagem B à amostra com pó de madeira na superfície.