



**Hugo Daniel Isaías
Pereira**

Maquinagem Sustentada de Latões Ecológicos



**Hugo Daniel Isaías
Pereira**

Maquinagem Sustentada de Latões Ecológicos

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva, Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais e namorada pelo incansável apoio e motivação ao longo deste percurso.

o júri

presidente

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

arguente principal

Prof. Doutor Luís Miguel Pereira Durão
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

orientador

Prof. Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva
Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar desejo expressar o meu reconhecido agradecimento ao Prof. João Paulo Davim Tavares da Silva, orientador científico deste trabalho, pelo apoio, incentivo e disponibilidade com vista à realização desta dissertação.

Ao Dr. Victor Fernando Santos Neto pelo apoio na preparação das amostras.

Ao Eng. António Festas pelo apoio na realização dos ensaios experimentais.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro pelos meios disponibilizados na elaboração deste trabalho.

A empresa Alberto da Silva Barbosa & Filhos Lda, Portugal, pela cedência dos latões comerciais usados nos testes.

De uma forma muito especial à minha família e namorada pelo incansável apoio e motivação ao longo deste percurso.

palavras-chave

Latão ecológico, mínima quantidade de lubrificante, maquinagem, manufatura sustentada, lubrificante biodegradável.

resumo

Ultimamente o estudo da maquinabilidade de latões ecológicos tem apresentado um grande interesse por parte das indústrias dos latões no âmbito da manufatura sustentada.

Neste trabalho pretende-se avaliar a maquinabilidade de alguns latões ecológicos, em operações de fresagem e furação utilizando a mínima quantidade de lubrificante (MQL).

A presente dissertação tem como objetivos avaliar a fiabilidade da maquinagem de latões ecológicos, aliada à utilização da MQL com lubrificante biodegradável, para que estes possam substituir a maquinagem de latões convencionais com Lubrificação Abundante (LA).

Os resultados foram avaliados tendo em consideração o acabamento de superfície, a presença ou não de rebarbas, a classificação das aparas obtidas e a temperatura atingida na peça.

Conclui-se que a MQL traz benefícios para a maquinagem de latões, principalmente os ecológicos, com um melhor acabamento superficial e uma melhor limpeza da zona de maquinagem, para além dos benefícios ambientais.

Conclui-se também que o bismuto é um bom substituto para o chumbo uma vez que os latões com adição deste elemento obtêm valores de Ra quase sempre inferiores aos dos latões convencionais.

keywords

Ecological brass, minimum quantity lubricant, machining, sustainable manufacture, biodegradable lubricant.

abstract

Lately the study of the machinability of ecological brasses has shown a great interest by the brass industries under the sustainable manufacture.

In this paper we intend to evaluate the machinability of some ecological brasses, in milling and drilling operations, using the minimum quantity of lubricant (MQL).

This thesis aims to evaluate the reliability of ecological brasses machining allied to the MQL use with biodegradable lubricant, so they can replace the machining of conventional lead brasses with Abundant Lubrication (AL).

The results were evaluated considering the surface finishing, the presence or absence of burrs, the classification of the obtained chips and the temperature reached in the piece.

It was concluded that the MQL benefits the brass machining, especially the ecological, with improvements in surface finish and in the machining zone cleaning, furthermore the environmental benefits.

It was also concluded that the bismuth is a good substitute for the lead since the brasses with addition of this element achieved Ra values almost always lower than in conventional brasses.

Índice

I.	Lista de Figuras.....	iii
II.	Lista de Tabelas.....	vi
III.	Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	vii
1.	Introdução	1
1.1.	Objectivos deste estudo.....	3
2.	Manufatura Sustentada de Latões Ecológicos – Estado da Arte	7
2.1.	Manufatura Sustentada - Conceito	7
2.2.	Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL).....	9
2.3.	Latões Ecológicos	14
2.3.1.	Latões Ecológicos com Adição de Bismuto.....	15
2.4.	Maquinagem Sustentada de Latões	17
2.5.	Síntese.....	18
3.	Materiais e Metodologia Experimental.....	19
3.1.	Materiais Ensaaiados (Latões).....	19
3.2.	Centro de maquinagem	22
3.3.	Ferramentas de corte	23
3.4.	Equipamento de MQL.....	24
3.5.	Lubrificantes.....	26
3.6.	Planeamento dos ensaios efectuados.....	27
3.7.	Medição da Temperatura na Peça.....	33
3.8.	Análise das superfícies maquinadas	36
4.	Resultados Obtidos e Sua Discussão.....	39
4.1.	Influência da Substituição do Chumbo e da MQL na Fresagem de Latões.....	39
4.1.1.	Análise dos Parâmetros de Rugosidade	39
4.1.2.	Aspeto Visual das Amostras (Análise de Rebarbas e Aparas).....	49
4.1.3.	Análise Microscópica.....	54
4.1.4.	Síntese	59
4.2.	Influência da Substituição do Chumbo e da MQL na Furação de Latões	60
4.2.1.	Análise dos Parâmetros de Rugosidade	60

4.2.2. Aspeto Visual das Amostras (Análise de Rebarbas e Aparas).....	69
4.2.3. Análise Microscópica.....	76
4.2.4. Análise da Variação de Temperatura.....	78
4.2.5. Síntese	80
5. Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros.....	83
6. Referências Bibliográficas	85
7. Anexos.....	89
Anexo 1 - Gráfico MQL.....	89
Anexo 2 – Programas CNC Utilizados na Fresagem.....	90
Anexo 3 - Programas Utilizados na Furação.....	92
Anexo 4 - Parâmetros de Rugosidade da Fresagem.....	94
Anexo 5 - Parâmetros de Rugosidade da Furação.....	99
Anexo 6 – Propriedades mecânicas dos latões ecológicos.	104
Anexo 7 – Ficha da composição dos latões ecológicos.....	105

I. Lista de Figuras

Figura 1: Maquinagem com MQL.	3
Figura 2: Fundamentos do desenvolvimento sustentável.....	8
Figura 3: Exemplo de aplicação da lubrificação abundante na maquinagem.	10
Figura 4: Artigos sobre MQL publicados ao longo dos últimos 12 anos. ¹	11
Figura 5: Elementos que se podem adicionar aos latões e suas propriedades.....	14
Figura 6: Variação da quantidade de chumbo em função da quantidade de cobre em ligas de cobre abrangidas pela norma EN.....	20
Figura 7: Efeito da quantidade de chumbo em função da quantidade de cobre nos latões para maquinagem.	20
Figura 8: Centro de Maquinagem CNC Vertical MIKRON VCE 500.....	23
Figura 9: Ferramentas utilizadas: a) Fresas CoroMill® Plura R216.32 – 06030 – AC10P 1020, b) Brocas Stub Drill – DIN 6539 – Nº 730.	24
Figura 10: Coolubricator JR™.X1	24
Figura 11: Coolubricator JR™ instalado no centro de maquinagem CNC.	25
Figura 12: Identificação dos latões: a) De acordo com o tipo; b) De acordo com a amostra.	28
Figura 13: Esquema do ensaio de fresagem.	29
Figura 14: Percurso da ferramenta no ensaio de fresagem.	30
Figura 15: Esquema de fresagem de 1 tipo de latão.....	30
Figura 16: Esquema do ensaio de furação.	31
Figura 17: Estratégia do ensaio de furação.	32
Figura 18: Esquema de furação de 1 latão.	33
Figura 19: Termómetro FLUKE 51 Series II.....	33
Figura 20: Suporte feito em Ureol: a) Vista de baixo, b) Vista de cima, c) Vista de cima com amostra de latão.	34
Figura 21: Abertura do furo para o termopar: a) Amostra furada, b) Broca de ponta de 2 mm, c) Broca de 2 mm.	35
Figura 22: Sistema de fixação com termopar instalado.	35
Figura 23: Hommel Tester T1000: a) unidade de apalpação, b) unidade de processamento com impressora.	36
Figura 24: Microscópio Nikon ECLIPSE LV150 com o software <i>Perfect Image v7.5</i>	38
Figura 25: Perfis de rugosidade do latão 1 (CuZn39Pb3), para $V_c=60$ m/min, $f=0,12$ mm/rot nos ambientes: a) LA, b) MQL e c) Seco.	40
Figura 26: Perfis de rugosidade do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), para $V_c=60$ m/min, $f=0,12$ mm/rot nos ambientes: a) LA, b) MQL e c) Seco.	41
Figura 27: Valores de R_a do latão 1 (CuZn39Pb3) em função do avanço: a) $V_c=60$ m/min, b) $V_c=90$ m/min e c) $V_c=130$ m/min.	42

Figura 28: Valores de Ra do latão 2 (CuZn40Pb2) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.	43
Figura 29: Valores de Ra do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.	44
Figura 30: Valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.	45
Figura 31: Valores de Ra do latão 5 (ECOASB20-AA.2) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.	46
Figura 32: Valores de Ra dos 5 latões em função do avanço para a LA: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.	47
Figura 33: Valores de Ra dos 5 latões em função do avanço para a MQL: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.	48
Figura 34: Aspeto final das amostras consoante o tipo de lubrificação em vários latões: a) LA, b) MQL e c) Sem Lubrificação (Seco).	49
Figura 35: Aspeto das rebarbas verticais nas amostras 1 e 2 (LA) do latão 1 (CuZn39Pb3) correspondentes a lubrificação abundante: a) f=0,03 mm/rot, b) f=0,06 mm/rot, c) f=0,12 mm/rot e d) f=0,24 mm/rot.	50
Figura 36: Altura das rebarbas verticais para as amostras 1(LA) e 2 (LA) do latão 1 (CuZn39Pb3), consoante o avanço: a) f=0,03 mm/rot, b) f=0,06 mm/rot, c) f=0,12 mm/rot e d) f=0,24 mm/rot.	51
Figura 37: Rebarbas horizontais presentes em todas as amostras.	52
Figura 38: Aparas geradas na fresagem com MQL com o avanço de 0,03 mm/rot para as velocidades de corte de: a) Vc=60 m/min, b) Vc=90 m/min e c) Vc=130 m/min.	53
Figura 39: Aparas geradas com MQL para Vc=60 m/min e f=0,03 mm/rot para os cinco latões: CuZn39Pb3, CuZn40Pb2, ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1 e ECOASB20-AA.2.	53
Figura 40: Aparas geradas na fresagem do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) com Vc=60 m/min e f=0,03 mm/rot para: a) MQL e b) Seco.	54
Figura 41: Entradas (e1, e2, e3, e4, e5) e saídas (s1, s2, s3, s4, s5) da amostra 3 (MQL) de todos os latões maquinados com f=0,03 mm/rot e Vc=90 m/min.	55
Figura 42: Saídas das amostras do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), maquinadas com f=0,06 mm/rot e Vc=90 m/min, em função do tipo de lubrificação usado: a) LA, b) MQL, c) Seco.	56
Figura 43: Saídas das amostras do latão 5 (ECOASB20-AA.2), maquinadas com MQL e Vc=90 m/min em função dos avanços: a) f=0,03 mm/rot, b) f=0,06 mm/rot.	57
Figura 44: Estrias de corte das amostras do latão 1 (CuZn39Pb3), maquinadas com f=0,012 mm/rot e Vc=60 m/min sob as condições de: a) LA, b) MQL, c) Seco.	58
Figura 45: Estrias de corte das amostras do latão 5 (ECOASB20-AA.2), maquinadas com f=0,012 mm/rot e Vc=60 m/min sob as condições de: a) LA, b) MQL, c) Seco.	58
Figura 46: Perfis de rugosidade do latão 1 (CuZn39Pb3), para Vc=80 m/min, f=0,20 mm/rot nos ambientes: a) Seco, b) MQL e c) LA.	61
Figura 47: Perfis de rugosidade do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), para Vc=80 m/min, f=0,20 mm/rot nos ambientes: a) Seco, b) MQL e c) LA.	61
Figura 48: Valores de Ra do latão 1 (CuZn39Pb3) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.	62

Figura 49: Valores de Ra do latão 2 (CuZn40Pb2) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.	63
Figura 50: Valores de Ra do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.	64
Figura 51: Valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.	65
Figura 52: Valores de Ra do latão 5 (ECOASB20AA.2) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.	66
Figura 53: Valores de Ra dos Cinco latões em função do avanço para a LA: Vc=50 m/min, Vc=80 m/min e Vc=110 m/min.	67
Figura 54: Valores de Ra dos cinco latões em função do avanço para a LA: Vc=50 m/min, Vc=80 m/min e Vc=110 m/min.	68
Figura 55: Comparação entre os 3 tipos de lubrificação: a) LA, b) MQL, c) Seco.	69
Figura 56: Aspeto da zona de maquinagem após furação nas condições de: a) LA, b) MQL e c) maquinagem a seco.	70
Figura 57: Adesão da apara na broca para LA.	71
Figura 58: Entradas e saídas dos furos realizados com MQL na amostra 3 (MQL) do latão 3 (ECOASB20-AB2.1).	72
Figura 59: Rebarbas dos furos de saída.	73
Figura 60: Aparas geradas na furação das amostras 3 e 4 (MQL) do latão 1 (CuZn39Pb3).	74
Figura 61: Aparas geradas na furação das amostras 3 e 4 (MQL) do latão 4 (ECOASB20-Z2.1).	75
Figura 62: Aparas geradas na furação a Seco dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 4 (ECOASB20-Z2.1), para a velocidade de corte de 50 m/min em função dos avanços: a=0,05 mm/rot, b=0,15 mm/rot, c=0,05 mm/rot e d =0,15 mm/rot.	76
Figura 63: Entradas (e1, e2) e saídas (s1, s2) dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 2 (CuZn40Pb2) maquinados com MQL, f=0,05 mm/rot e Vc=110 m/min.	77
Figura 64: Entradas (e3, e4, e5) e saídas (s3, s4, s5) dos latões ecológicos maquinados com MQL, f=0,05 mm/rot e Vc=110 m/min.	78
Figura 65: Temperaturas máximas geradas durante a furação dos latões 2 (CuZn40Pb2), 3 (ECOASB20-Z2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2) em função das condições de maquinagem.	79

II. Lista de Tabelas

Tabela 1: Quantidades de caudal de MQL segundo vários autores.....	12
Tabela 2: Propriedades mecânicas e químicas dos latões com chumbo.	21
Tabela 3: Propriedades mecânicas e químicas dos latões ecológicos.	22
Tabela 4: Parâmetros de corte usados na fresagem.....	29
Tabela 5: Parâmetros de corte usados na furação.....	32
Tabela 6: Descrição dos parâmetros de rugosidade usados.	37

III. Lista de Símbolos e Abreviaturas

CNC	Controlo Numérico Computadorizado
DEM	Departamento de Engenharia Mecânica
et al.	e outros (do Latim et alii)
f	avanço
imp/min	impulsos por minuto
LA	Lubrificação Abundante
ml/h	mililitros por hora
ml/imp	mililitros por impulso
mm/rot	milímetros por rotação
MQL	Mínima Quantidade de Lubrificante
NACFAM	National Council For Advanced Manufacturing
Ra	rugosidade média aritmética
rpm	rotações por minuto
UA	Universidade de Aveiro
Vc	velocidade de corte

1. Introdução

Nos últimos anos, o estudo da maquinabilidade de latões ecológicos tem apresentado um grande interesse no âmbito da manufatura sustentável, que pode ser definida como todo o conjunto de tecnologias para transformar materiais com reduzida emissão de gases de estufa, reduzido uso de materiais não renováveis ou tóxicos e ainda reduzida geração de resíduos (NACFAM, 2008).

Recentemente, a produção de peças em latão ecológico tem vindo a aumentar ao nível do mercado global para diversas indústrias que procuram cada vez mais ter por base um desenvolvimento sustentável.

O latão é uma liga metálica composta maioritariamente por cobre e zinco, cuja composição química pode variar consoante o fim a que se destina. A combinação de algumas das suas propriedades, como boa resistência à corrosão, elevada condutividade térmica e elétrica, faz do latão um material muito utilizado no nosso dia-a-dia desde componentes elétricos e da indústria automóvel até componentes usados em canalizações de transporte de água potável como tubagens, válvulas, torneiras, entre outros.

De forma a potenciar algumas das características destas ligas podem ser eficientemente adicionadas pequenas quantidades de outros elementos. O chumbo, por exemplo, quando adicionado ao latão (até 3%), torna-o mais macio e mais fácil de maquinar,

fazendo com que este se encontre em muitos dos objetos com que lidamos no nosso dia-a-dia. Os benefícios que este elemento confere ao latão são há já muitos anos apreciados uma vez que facilita a fratura das aparas, reduz as forças de corte, aumenta a maquinabilidade e consequentemente a produtividade, reduz o desgaste da ferramenta e melhora o acabamento da superfície (Bursikova, et al., 2002) (Kumar, et al., 2007).

No caso dos latões usados nas canalizações, o chumbo é adicionado para melhorar a maquinabilidade, caso contrário estes produtos de latão seriam bem mais caros devido aos custos com a sua maquinagem (Copper Development Association Inc., 2012). No entanto, o chumbo é um metal altamente tóxico para a saúde humana e para o ambiente.

Os resultados de uma extensa pesquisa indicaram que o aumento da quantidade de chumbo encontrado na água potável poderá dever-se á lixiviação dos latões com chumbo usados nos componentes das canalizações, e levaram á publicação de nova legislação que obriga a diminuir a quantidade de chumbo admissível nessa mesma água (D. Peters, 1995) . Surgiu assim a necessidade de se desenvolverem latões ecológicos.

O Bismuto tem sido utilizado em alguns latões como substituto do chumbo uma vez que se comporta como ele em muitos aspetos. Sendo vizinhos na tabela periódica, possui um ponto de fusão 56°C mais baixo que o chumbo, fazendo com que se comportem de maneira idêntica durante a fusão e solidificação. Tal como o chumbo, é praticamente insolúvel no latão e suas ligas e também torna as aparas quebradiças fazendo com que estas sejam pequenas e por sua vez fáceis de remover (Copper Development Association Inc., 2012). Além destas características, o bismuto é praticamente o único metal pesado não tóxico que se conhece.

Assim, é possível ter latões ecológicos com boa maquinabilidade, que permitem obter um bom acabamento superficial e aumentar o tempo de vida útil das ferramentas.

Outra forma de conseguir um bom acabamento na maquinagem de alguns metais como o latão, é através da lubrificação abundante, onde um jato de emulsão (mistura de água com um óleo, geralmente mineral) é projetado contra a zona de contato entre a ferramenta e o material, de forma a reduzir as forças de atrito entre eles. Esta técnica de lubrificação é a mais utilizada pela indústria pelos bons resultados que permite obter, mas nos últimos anos tem vindo a ser questionada devido aos riscos que ela acarreta, como a biodegradabilidade dos óleos minerais, a quantidade de óleo usada no processo e a saúde dos operadores devido á origem mineral dos óleos.

Face às necessidades da sociedade moderna em garantir a sustentabilidade ambiental, que entre outros, contempla a diminuição do uso de materiais tóxicos, surgiu um novo conceito de lubrificação designada de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL), que permite uma maquinagem sustentável mais amiga do utilizador e do ambiente. Esta técnica consiste num jato de ar que arrasta uma quantidade mínima de óleo sob a forma de pequenas gotículas e as pulveriza uniformemente na zona de corte. Sendo uma alternativa à lubrificação abundante, esta técnica tem vindo a ser considerada uma boa solução que garante bons resultados a nível económico e ambiental uma vez que reduz a quantidade de lubrificante usado.

1.1. Objectivos deste estudo

No sentido de contribuir para a manufatura sustentada, esta dissertação teve como objetivos principais avaliar se durante a maquinagem a substituição do chumbo no latão pela adição de bismuto é viável, e por outro lado verificar se a técnica da MQL pode substituir a convencional LA.

Assim, testaram-se cinco latões com constituições diferentes, dois com presença de chumbo (CuZn39Pb3 e CuZn40Pb2) e três ecológicos (ECOASB20 – AB2.1, ECOASB20 – Z2.1 e ECOASB20 – AA.2).

O efeito do tipo de lubrificação foi testado entre duas condições diferentes, Lubrificação Abundante (LA) e Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) e comparado com a maquinagem a seco. A Figura 1 apresenta um exemplo de MQL aplicado num processo de maquinagem.

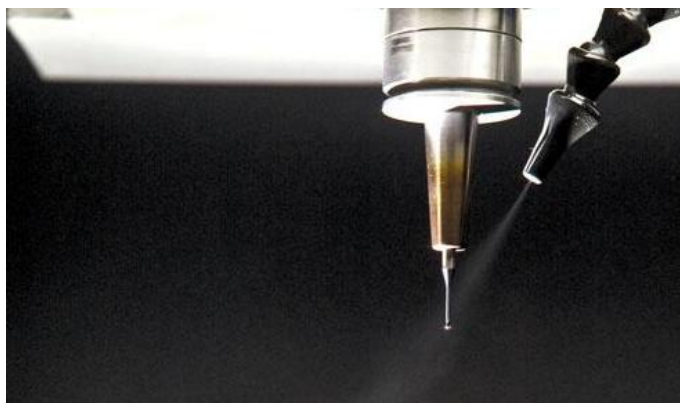


Figura 1: Maquinagem com MQL.

Para avaliar a influência dos parâmetros processuais, definiram-se quatro velocidades de avanço e três velocidades de corte.

Para avaliar a qualidade das superfícies maquinadas, numa primeira fase efetuou-se uma análise visual das amostras logo após a maquinagem. Na fase seguinte avaliou-se a rugosidade das zonas maquinadas com recurso a um rugosímetro e por fim, com recurso a um microscópio examinaram-se as entradas e saídas das zonas maquinadas, assim como as rebarbas existentes e as estrias deixadas pelas ferramentas. As aparas formadas no processo também foram analisadas e caracterizadas quanto ao seu tamanho e forma.

1.2. Estrutura/Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos incluindo o presente capítulo introdutório, que descreve o enquadramento e motivação do trabalho realizado face à necessidade industrial, assim como os principais objetivos. Acrescem-se ainda as referências e os anexos, onde se apresentam, entre outros, as tabelas com os resultados dos parâmetros de rugosidade medidos.

No Capítulo 2 - **“Manufatura Sustentada de Latões Ecológicos - Estado da Arte”** - são descritos alguns conceitos relevantes para este trabalho, relativos aos latões ecológicos e à manufatura sustentada. São também apresentados alguns resultados experimentais obtidos por diversos investigadores na área da maquinagem com MQL em diversos materiais, nomeadamente latões.

No Capítulo 3 - **“Materiais e Metodologia experimental”** - descreve-se a metodologia utilizada na realização dos ensaios, detalhando aspetos relativos aos equipamentos utilizados na execução deste trabalho, tanto na maquinagem (fresagem e furação), como na obtenção dos resultados. Descrevem-se ainda as ferramentas e o material ensaiado, assim como os parâmetros de maquinagem e de lubrificação que foram utilizados.

No Capítulo 4 - **“Resultados Obtidos e Sua Discussão”** - realiza-se a análise e discussão dos resultados obtidos em duas secções, de acordo com os objetivos propostos:

- Avaliar a influência do chumbo e da mínima quantidade de lubrificante na fresagem e furação de latões com chumbo e com adição de bismuto ao nível qualidade superficial, da análise visual para a presença de rebarbas e aparas, por uma análise de imagens obtidas por microscópio e também pela análise da temperatura da peça.

No Capítulo 5 - **“Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros”** - apresentam-se, de forma geral, as principais conclusões obtidas neste trabalho. Apresentam-se igualmente algumas perspectivas de desenvolvimento futuro no seguimento dos assuntos apresentados.

2. Manufatura Sustentada de Latões Ecológicos – Estado da Arte

2.1. Manufatura Sustentada - Conceito

A sustentabilidade pode ser definida como a satisfação das necessidades da geração presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (World Commission on Environment and Development, Our Common Future, 1987).

O consumo de recursos naturais e a poluição resultante da vida de produtos técnicos, causaram problemas ambientais a nível global, levando a um aumento da pressão política e conseqüentemente à aplicação de fortes regulamentos aos fabricantes e utilizadores desses mesmos produtos. (Jegatheesan, et al., 2009).

Com os padrões de vida globais a aumentar continuamente, o desafio da produção passa por atender a uma procura cada vez maior de produtos, usando menos materiais, menos energia e gerando menos resíduos. (European Commission, 2010).

A nível político, têm sido tomadas várias iniciativas de desenvolvimento sustentável no âmbito da ONU, OCDE, União Europeia, entre outros. (Jovane, et al., 2008) (Jovane, et al., 2009).

Na Figura 2 estão representados os fundamentos do desenvolvimento sustentável.

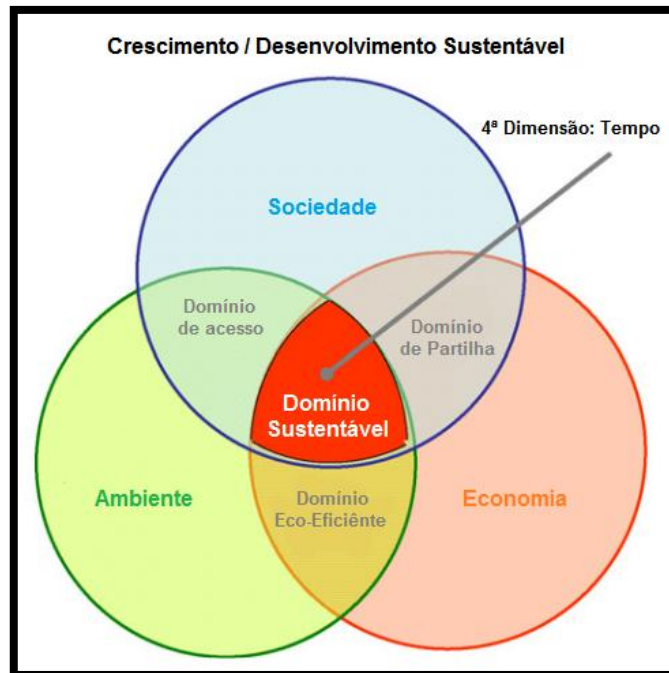


Figura 2: Fundamentos do desenvolvimento sustentável.

(adaptado Jovane, et al., 2008)

Para o NACFAM (2008), existem duas definições de Manufatura Sustentada, a manufatura de produtos sustentáveis e a manufatura sustentada de todos os produtos, sendo que a primeira inclui a produção de energia renovável e eficiência energética. Por sua vez, a manufatura sustentada dá ênfase à manufatura de qualquer produto uma vez que tem em conta todas as questões relacionadas com a sustentabilidade do ciclo de vida dos produtos produzidos.

Para Jayal, et al., (2010), a melhor definição é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades, mas não só. Para estes autores, é necessário ir para além da já conhecida política dos 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) das tecnologias verdes, e alcançar um conceito mais abrangente, recentemente formado para a produção sustentável, denominado de 6R (Reduzir, Reutilizar, Recuperar, Redesign, Remanufatura, Reciclagem).

Algumas empresas vanguardistas têm reconhecido que, embora a curto prazo, melhorar a eficiência ambiental possa levar a um aumento de custos em certas áreas, a longo prazo irá levar a um aumento significativo do desempenho financeiro, sendo agora um pré-requisito para se conseguir um negócio sustentável (Smith, et al., 2012)

Nos últimos anos, tem havido um número crescente de empresas com exemplos de poupança, como por exemplo:

- A Ford (Global Operations) reduziu o uso de energia em 30% e o uso de água em 40%. Desde 1991, já conseguiu reduzir em 31% as emissões dos seus veículos ligeiros na Europa (Ford, 2012).

- A Sony reduziu as emissões de CO₂ resultantes do uso de eletricidade e de instalações de aquecimento (Operações Europeias) em 93% durante 10 anos, tendo ainda conseguido que fossem recicladas 60000 toneladas de material electrónico em 2008 (Sony, 2010) ;

- A Rolls-Royce reduziu o uso de solventes em 51%, reduziu as emissões de gases de efeito de estufa em 24%, e aumentou a proporção de resíduos sólidos enviados para reciclagem em 63%, durante um período de 10 anos enquanto duplicaram o volume de negócios (Rolls-Royce, 2010).

2.2. Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL)

Sokovic, et al., (2001) afirmam que os fluidos de corte ou lubrificantes usados nos processos de maquinagem, servem para melhorar as características dos processos tribológicos que se encontram sempre presentes nas superfícies de contacto entre a ferramenta e a peça.

No corte por arranque de apara, o uso de lubrificantes tem como objetivos principais a redução do coeficiente de atrito e a diminuição da temperatura, uma vez que o calor gerado nestes processos não se deve somente á deformação plástica da apara mas também ao atrito existente entre esta e a face de ataque da ferramenta de corte (Davim, 2008). Os pontos de atrito entre as superfícies sólidas passam a ter um lubrificante entre eles.

Apesar dos fluidos lubrificantes (líquidos e gasosos) serem os mais utilizados na industria, existem lubrificantes no estado sólido (pó misturado com massa ou óleo lubrificante) que se podem aplicar diretamente na face de ataque da ferramenta antes da maquinagem. Podem usar-se ainda aditivos metalúrgicos (selénio, chumbo) que são acrescentados

durante a fabricação dos metais com o objectivo de melhorar a sua maquinabilidade (Davim, 2008).

Apesar das inúmeras vantagens que os fluidos lubrificantes trazem á maquinagem de metais, a sua utilização tem levantado cada vez mais questões relacionadas com a saúde dos operadores, que ao entrarem em contacto directo com as peças ainda húmidas, podem, entre outros, desenvolver infeções de pele e doenças respiratórias (Sokovic, et al., 2001), (Correia , et al., 2006).

Além disto, os lubrificantes podem danificar os recursos do solo e da água se forem mal manuseados, o que tem levado cada vez mais ao aperto das normas para manuseamento e descarte destes produtos de forma a proteger o ambiente (Dhar, et al., 2006), (Nandi, et al., 2009).

Além destes inconvenientes, os custos com a lubrificação são muito elevados, chegando frequentemente a ser superiores aos custos com as ferramentas de corte (Klocke, et al., 1998), (Byrne, et al., 1993).

A Figura 3 apresenta um exemplo de aplicação de lubrificação abundante em operações de maquinagem.



Figura 3: Exemplo de aplicação da lubrificação abundante na maquinagem.

(Fonte: <http://www.noco.ca/Metalworking-Lubricants>)

A MQL tem-se revelado uma boa técnica de lubrificação alternativa, capaz de substituir a LA em operações de corte por arranque de apra devido às vantagens que apresenta.

O seu método de funcionamento permite realizar as mesmas funções que a LA, apesar de gastar uma quantidade muito inferior de lubrificante. Na maquinagem com MQL, normalmente é usada uma emulsão de ar e óleo, denominada aerossol, e o seu funcionamento baseia-se numa corrente de ar comprimido que arrasta uma pequena quantidade de óleo. Esta mistura, composta por micro gotículas de óleo, é pulverizada para a zona de corte de forma uniforme.

Ao longo dos anos cada vez mais investigadores têm sugerido a MQL para processos de corte por arranque de apara, uma vez que esta permite obter resultados semelhantes aos obtidos com LA, a mesmo tempo que se realiza uma maquinagem mais ecológica. (Machado, et al., 1997), (Rahman, et al., 2001), (Davim, et al., 2006), (Fox-Rabinovich, et al., 2011).

Na Figura 4, apresenta-se um gráfico com o número de artigos sobre a MQL publicados nos últimos 12 anos, e como se pode observar, apesar do presente ano ainda não ter terminado, já foi ultrapassado o número de artigos publicados sobre esta matéria relativamente a anos anteriores.

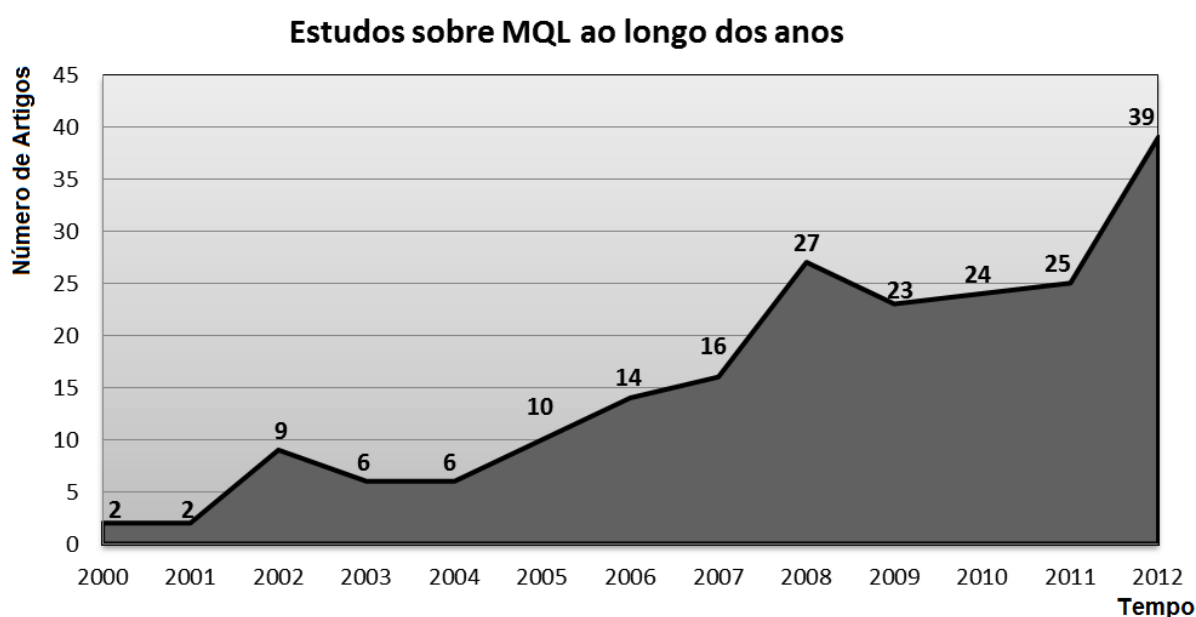


Figura 4: Artigos sobre MQL publicados ao longo dos últimos 12 anos.¹

¹ - Informação retirada do sítio <http://www.sciencedirect.com> através de uma pesquisa pelas palavras “Minimum Quantity of Lubrication” ou “MQL” nos títulos dos artigos a 18 de Outubro de 2012.

Gaitonde, et al., (2008), consideram que a MQL se mantém válida para uma ampla gama de caudais de lubrificação, entre 50 e 500 ml/h, mas muitos autores têm opiniões diferentes relativamente a estes valores (Tabela 1), apesar de, como defendem os autores Davim, et al., (2007), ainda não terem sido efetuadas pesquisas que permitam concluir qual a quantidade de lubrificante ideal para melhorar a maquinabilidade. Segundo estes mesmos autores, apesar das vantagens que a MQL apresenta, para se conseguir obter uma boa qualidade superficial numa superfície maquinada com uma força específica de corte mínima, as condições de corte devem ser cuidadosamente selecionadas de acordo com a quantidade de MQL ótima.

Tabela 1: Quantidades de caudal de MQL segundo vários autores.

Autores / Ano	Caudal de MQL (ml/h)
(Sahm, et al., 1996)	$10 \leq 100$
(Klocke, et al., 1998)	< 80
(Braga, et al., 2002)	< 30
(Heinemann, et al., 2006)	≈ 18
(Gaitonde, et al., 2008)	$50 \leq 500$
(Bhowmick, et al., 2010)	≤ 100

Na Tabela 1 estão resumidas as opiniões de diversos autores quanto à quantidade de lubrificante a usar na MQL, mas apesar das diferenças, qualquer valor é significativamente inferior ao usado na LA.

A utilização desta técnica apresenta também alguns inconvenientes. Correia, et al., (2006) referem que existe uma acumulação de aparas na zona de maquinagem uma vez que estas são projetadas pela emulsão, o que pode causar problemas em grandes séries, e por outro lado esta emulsão deixa inúmeras partículas de óleo em suspensão no compartimento de maquinagem, o que obriga à existência de uma vedação estanque da máquina assim como de um sistema extrator, caso contrário o operador poderá inalar as partículas de óleo e eventualmente sofrer problemas respiratórios.

Como se viu pelo gráfico da Figura 4, a MQL tem sido alvo de muitos estudos ao longo dos últimos anos, onde os investigadores têm tentado aperfeiçoar esta técnica em busca de soluções de maquinagem mais amigas do ambiente.

Lugscheider, et al., (1997) usaram a MQL na fresagem de ferro fundido cinzento e ligas de alumínio ALSi12 e concluíram que houve uma redução do desgaste das ferramentas

com metal duro utilizadas em comparação com os ensaios realizados sem lubrificação assim como uma qualidade superficial superior dos furos.

Rahman, et al., (2002) realizaram um estudo de comparação entre a MQL e a LA em operações de fresagem, usando para a MQL um caudal de 8,5 ml/h fornecidos a uma pressão de 4,5 bar e para a LA um caudal de 42000 ml/h. Como principais conclusões os autores referiram que a MQL pode substituir claramente a maquinagem a seco e pode também ser considerada uma boa alternativa à LA uma vez que reduz drasticamente a quantidade de lubrificante usado. Referiram ainda que para velocidades de corte baixas a MQL apresentou bons resultados ao diminuir o desgaste da aresta de corte e obtendo uma rugosidade superficial comparável com a LA, e que no caso da MQL a altura das rebarbas foi superior apesar de não haver adesão das mesmas.

Heinemann, et al., (2006), efetuaram ensaios de furação profunda com brocas de pequeno diâmetro usando três lubrificantes de MQL diferentes. Concluíram que usar uma emulsão com maior quantidade de água e uma viscosidade mais baixa no equipamento de MQL teve efeitos benéficos, ao aumentar a capacidade de arrefecimento do fluido lubrificante e ao aumentar a capacidade de penetração do mesmo no furo. Na furação a seco a vida útil das ferramentas é reduzida drasticamente devido ao elevado calor gerado no processo.

Dhar, et al., (2006), realizaram operações de torneamento no Aço AISI-4340 com um caudal de lubrificação de 60 ml/h e uma pressão de 7 bar e concluíram que a maquinagem com MQL era melhor do que com a LA convencional. Obtiveram uma redução da temperatura de corte que ajudou a manter o gume das arestas decorte, e assim obter uma melhor precisão dimensional. Concluíram ainda que se podia aumentar a produtividade através do aumento da velocidade de corte, já que a vida útil da ferramenta com MQL é superior.

Davim, et al., (2006), testaram a furação do alumínio AA1050 comparando a MQL com um caudal de 250 ml/h, com um caudal de 1200 l/h na LA e a furação a seco. A MQL obteve resultados de rugosidade semelhantes aos da LA e verificaram também que a furação a seco gerou forças de corte superiores do que na furação com lubrificação.

Bhowmick, et al., (2010), compararam a furação de magnésio de fundição entre MQL com um caudal de 10 ml/h, LA com um caudal de 30 l/h e furação a seco. Os resultados demonstraram que a MQL obteve melhorias significativas em comparação com a

maquinagem a seco e que a temperatura máxima atingida pela MQL não excedeu a temperatura máxima atingida na LA.

Os resultados dos estudos destes autores citados indicam que com a seleção de um sistema de MQL adequado e dos parâmetros de corte selecionados de acordo com material a maquinar, é possível obter resultados semelhantes aos da LA relativamente à qualidade da lubrificação e do acabamento superficial assim como da vida das ferramentas.

2.3. Latões Ecológicos

O latão, liga metálica de cobre e zinco, apesar de já ser utilizado pelos humanos desde a pré-história, é um dos metais com maior desenvolvimento e implementação da atualidade devido às suas propriedades. O latão destaca-se pela excelente maquinabilidade, bom comportamento na deformação a diferentes temperaturas, resistência ao desgaste e resistência à corrosão (Alberto da Silva Barbosa & Filhos, Lda., 2012).

Através do processo de fundição este material é bastante utilizado no fabrico de peças para canalizações (válvulas e tubagens) usadas no transporte de fluidos como a água potável que chega até às nossas casas.

Apesar do latão ser maioritariamente constituído por cobre e zinco outros elementos podem ser-lhe adicionados, como se pode ver na Figura 5.

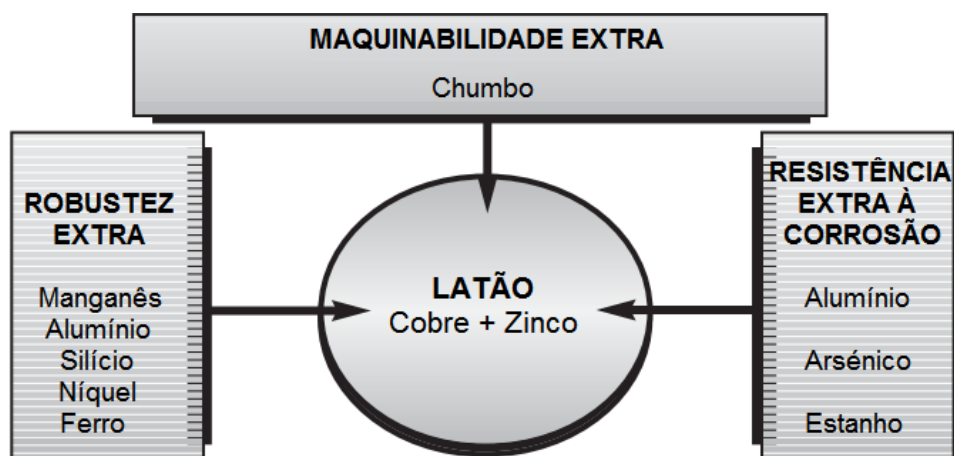


Figura 5: Elementos que se podem adicionar aos latões e suas propriedades.

(adaptado: Copper Development Association, 2005)

O chumbo, metal pesado e macio conhecido pela sua toxicidade, foi adicionado durante muito tempo a latões que necessitavam de operações de maquinagem, uma vez que além de facilitar a fratura das aparas e reduzir as forças de corte, reduz também o desgaste da ferramenta melhorando o acabamento da superfície, podendo até aumentar a maquinabilidade e conseqüente produtividade.

No caso dos latões usados nas canalizações, o chumbo é adicionado para melhorar a sua maquinabilidade e assegurar a sua estanquicidade, caso contrário os custos com a maquinagem deste material seriam bem mais elevados (Copper Development Association Inc., 2012).

Uma vez que a solubilidade do chumbo no cobre é muito reduzida, este dispersa-se na sua microestrutura sob a forma de glóbulos, funcionando como lubrificante ao diminuir o coeficiente de atrito entre a ferramenta e o material, criando descontinuidades que promovem a fragmentação das aparas e reduzindo as forças de corte assim como o desgaste da ferramenta (Saigal, et al., 2006) (French, 1973).

Apesar das vantagens mencionadas anteriormente, o uso de chumbo deve ser limitado devido à crescente preocupação sobre os potenciais riscos deste elemento na saúde humana. O resultado duma extensa pesquisa que indicou que o aumento da quantidade de chumbo na água potável se podia dever à contaminação do chumbo presente nas ligas de cobre usadas em componentes de canalizações, levou a que nos anos seguintes fosse criada nova legislação que obrigou à redução do teor da quantidade de chumbo presente na água potável (Rohatgi, et al., 1993) (D. Peters, 1995). De forma a evitar a presença de chumbo nos latões para maquinagem usados no fabrico de componentes de canalizações aplicados em sistemas domésticos e industriais de abastecimento de água, foram desenvolvidas algumas ligas novas, através do uso de selénio e bismuto e foram propostos alguns revestimentos tanto orgânicos como inorgânicos (Rohatgi, et al., 1993) (D. Davis, 1993).

2.3.1. Latões Ecológicos com Adição de Bismuto

Nos últimos anos a procura de latões ecológicos pela indústria das canalizações tem vindo a aumentar por todo o mundo, devido às restrições e regulamentos que têm sido impostos no que diz respeito à quantidade de chumbo permitida na água.

O bismuto tem sido considerado a escolha de eleição para substituir o chumbo como aditivo que facilite a maquinagem uma vez que este é segregado para a fronteira de grão do cobre devido ao seu ponto de fusão mais baixo e à sua solubilidade (Whiting, et al., 1996), (Thomson, et al., 2003).

Sendo um vizinho do chumbo na tabela periódica de elementos, o Bismuto partilha muitas das suas características, sendo que possui um ponto de fusão ainda mais baixo (271,5°C), fazendo com que os seus comportamentos durante a fundição e a solidificação sejam muito semelhantes. Outra característica que têm em comum é que ambos são praticamente insolúveis no cobre e nas suas ligas, e tal como o chumbo, provoca a quebra das aparas durante a maquinagem em partículas mais pequena, que são facilmente removíveis. Ao contrário do chumbo, o bismuto não é considerado tóxico para os humanos, tendo sido utilizado durante muitos anos como o principal ingrediente em medicamentos para o estômago (Copper Development Association Inc., 2012). No entanto tem sido referido que a adição de bismuto diminui a ductilidade do material (Whiting , et al., 1999).

A eficácia do bismuto como substituto do chumbo nos latões tem vindo a ser demonstrada por alguns autores como Haruhiko, et al., (2001), que afirmam que a maquinabilidade de um latão ecológico com bismuto manteve 75% da maquinabilidade do latão com chumbo convencional correspondente.

Um dos latões ecológicos mais conhecido é o EnviroBrass®, onde o chumbo é substituído por bismuto e selénio (Peters, 1997), (Michels, January 2002).Existem no mercado equipamentos e acessórios feitos de EnviroBrass e de outros latões ecológicos, embora sejam muito mais caros do que os feitos a partir dos latões convencionais.

Outro latão ecológico muito conhecido é o ECOBRASS®, fabricado pela Mitsubishi Shindoh (Mitsubishi Shindoh, 2012). A Bruma, empresa portuguesa ligada à Indústria de fundição de metais (torneiras), acessórios e artigos de iluminação, produziu a primeira torneira do mundo com 0% de chumbo em ECOBRASS, contribuindo assim para um desenvolvimento mais sustentável e amigo do ambiente (Bruma, 2007).

2.4. Maquinagem Sustentada de Latões

Gaitonde, et al., (2012), investigaram a influência da velocidade de corte, de avanço e de diferentes quantidades de MQL na performance do torneamento de latões usando ferramentas de metal duro k10. Neste estudo foi usado além do método de Taguchi, um programa de algoritmos genéticos que escolhe os valores mínimos de rugosidade e os correspondentes parâmetros ótimos de maquinagem. Usaram quantidades de lubrificante de 50, 100 e 200 ml/h. Os valores dos parâmetros de corte usados foram para a velocidade de corte de 100, 200 e 400 m/min e para a velocidade de avanço 0,05, 0,10 e 0,15 mm/rot. Nas conclusões deste estudo os autores afirmam que a otimização pelos algoritmos genéticos indicou as melhores quantidades de MQL e condições de corte a usar para se obter uma qualidade superficial melhor dentro das condições de corte escolhidas. Revelaram também que o algoritmo genético indicou que a rugosidade superficial mínima variou entre os valores de 0,23 micrometros a 0,5 micrometros, valores que estavam dentro das gamas de parâmetros selecionados para o processo.

Gaitonde, et al., (2008), realizaram estudos em torneamento de latões de forma a selecionar o melhor valor para a mínima quantidade de lubrificante a utilizar. Utilizaram quantidades de lubrificante de 50, 100 e 200 ml/h, velocidades de corte de 100, 200 e 400 m/min e velocidades de avanço de 0,05, 0,10 e 0,15 mm/rot. Através do método de Taguchi, o objetivo dos autores foi determinar os melhores valores dos parâmetros em estudo. A experiência demonstrou que para se minimizarem em simultâneo tanto a rugosidade superficial como as forças de corte é necessário combinar a velocidade de avanço de 0,05 mm/rot com a MQL de 200 ml/h e a velocidade de corte de 200m/min, sendo que a importância dos parâmetros se revelou decrescente pela ordem indicada.

Davim, et al., (2007), investigaram o torneamento de latões sob diferentes tipos de lubrificação, nomeadamente a lubrificação Abundante e a MQL, de forma a poderem testar a potência de corte, a força específica de corte e a rugosidade superficial. No caso da LA foi usada uma quantidade de lubrificante de 2000 ml/h e na MQL quantidades de 50, 100 e 200 ml/h. Nos testes foi usada uma profundidade de corte de 2 mm e os valores dos parâmetros de corte usados foram para a velocidade de corte de 100, 200 e 400 m/min e para a velocidade de avanço 0,05, 0,10, 0,15 e 0,20 mm/rot. Concluíram que a velocidade de corte crítica para se torneiar latão com a MQL é de 200 m/min uma vez que foi a velocidade de obteve a força de corte específica mais baixa. A rugosidade

superficial das amostras maquinadas para a condição de MQL com 200 ml/h foi semelhante à da LA, assim como a forma das aparas obtidas para ambas as técnicas de lubrificação. A relação entre os parâmetros de rugosidade Ra e Rt manteve-se para todas as condições de maquinagem. Com estes resultados os autores afirmam que a LA pode ser substituída com sucesso pela MQL, uma vez que esta técnica permitiu obter resultados iguais ou melhores, e além disso os custos de maquinagem e os riscos ambientais podem ser reduzidos.

2.5. Síntese

A maquinagem sustentada tem-se revelado muito importante no âmbito da sustentabilidade uma vez que tem uma relação direta com o consumo de recursos naturais e a poluição resultante da vida de certos produtos.

A MQL tem-se revelado uma boa opção à LA na maquinagem de diversos materiais, mostrando melhores acabamentos superficiais, aumentando o tempo de vida das ferramentas e a produtividade. No sentido da manufatura sustentada, a MQL mostra ainda vantagens em relação a outros tipos de lubrificação uma vez que usa quantidades mínimas de óleo vegetais e biodegradáveis ao invés do uso de grandes quantidades de óleos minerais, não pondo em causa a saúde dos operadores ao mesmo tempo que não polui o ambiente.

O desenvolvimento e a procura de latões ecológicos têm aumentado nos últimos anos devido às restrições impostas relativamente à quantidade de chumbo presente no material. O bismuto tem sido utilizado com sucesso na substituição do chumbo uma vez que permite obter resultados idênticos na maquinagem dos latões com a vantagem de não ser tóxico.

3. Materiais e Metodologia Experimental

3.1. Materiais Ensaados (Latões)

Os latões com chumbo ensaiados, gentilmente cedidos pela empresa Alberto da Silva Barbosa & Filhos Lda, Portugal, obedecem à Norma Europeia para cobre e ligas de cobre, EN 12126:1998+A1, que os caracteriza como sendo apropriados para todo o tipo de operações de maquinagem. Quanto à sua composição química, cada latão pertence a uma norma diferente. No caso do latão CuZn39Pb3, o número da norma CW 614N indica que este é um latão apropriado para maquinagem a alta velocidade, enquanto que o latão CuZn40Pb2, já é um latão apropriado para corte a velocidades moderadas (Copper Development Association, 2005).

Como se pode observar na Figura 6, que apresenta a quantidade de chumbo em função da quantidade de cobre nas ligas de cobre abrangidas pela norma EN, o latão CuZn39Pb3 contém uma maior percentagem de chumbo em relação ao latão CuZn40Pb2 obtendo-se uma maquinabilidade superior, como se pode observar na Figura 7, que apresenta o efeito da quantidade de chumbo em função da quantidade de cobre nos latões para maquinagem.

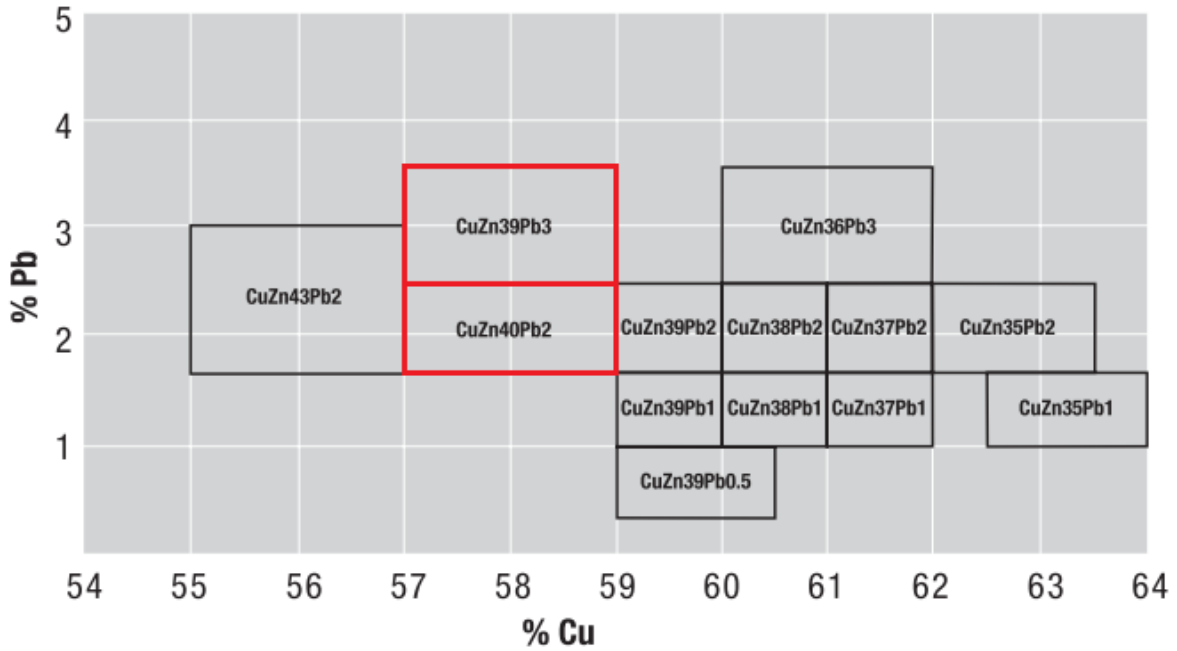


Figura 6: Variação da quantidade de chumbo em função da quantidade de cobre em ligas de cobre abrangidas pela norma EN.

(adaptado: Copper Development Association, 2005)

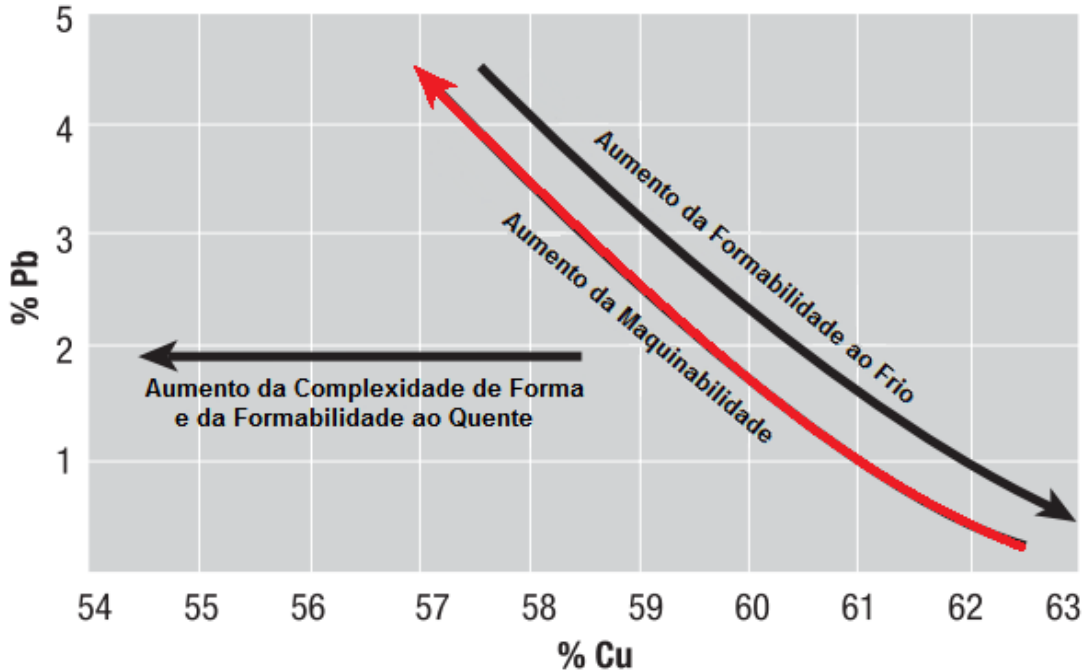


Figura 7: Efeito da quantidade de chumbo em função da quantidade de cobre nos latões para maquinagem.

(adaptado: Copper Development Association, 2005)

Os latões ecológicos utilizados (ECOASB20 – AB2.1, ECOASB20 – Z2.1 e ECOASB20 – AA.2) foram desenvolvidos e produzidos pela empresa Alberto da Silva Barbosa & Filhos Lda, Portugal, e segundo a norma ASTM E 618-07 possuem uma maquinabilidade de 93%. Segundo o fabricante são latões apropriados para maquinação de componentes de alta precisão pelo que requerem um bom acabamento superficial.

O trabalho prático iniciou-se com a preparação dos cinco latões, facultados pela supra referida, que se apresentavam sob a forma de varões com 500 mm de comprimento e 22 mm de diâmetro. De cada um destes cinco varões foram cortadas 6 amostras com aproximadamente 18 mm de espessura e de seguida facejadas em ambas as faces/lados para assentarem de forma perfeita no centro de maquinação CNC.

A Tabela 2 apresenta a composição química e as propriedades mecânicas dos latões com chumbo.

Tabela 2: Propriedades mecânicas e químicas dos latões com chumbo.

	CuZn39Pb3 - CW614N ¹		CuZn40Pb2 - CW617N ²	
Tensão de Cedência	250 MPa		250 MPa	
Tensão de Rotura	430 MPa		430 MPa	
Dureza	120 HB		120 HB	
Densidade	8,4 g/cm ³		8,4 g/cm ³	
Elemento	Min (%)	Máx (%)	Min (%)	Máx (%)
Cu	57,0	60,0	57,0	59,0
Al	-	0,1	-	0,05
Fe	-	0,5	-	0,3
Ni	-	0,4	-	0,3
Pb	2,5	3,5	1,6	2,5
Sn	-	0,4	-	0,3
Zn	Resto		Resto	
Outros	-	0,2	-	0,2

¹((Euralliage - CuZn39Pb3 , 2012), ²(Euralliage - CuZn40Pb2, 2012))

A Tabela 3 apresenta a composição química e as propriedades mecânicas dos latões ecológicos.

Tabela 3: Propriedades mecânicas e químicas dos latões ecológicos.

	ECOASB20 - AB2.1	ECOASB20 – Z2.1	ECOASB20 – AA.2
Tensão de Cedência	320 MPa	320 MPa	320 MPa
Tensão de Ruptura	523,62 MPa	503,62 MPa	548,8 MPa
Módulo de elasticidade	102 GPa	102 GPa	102 GPa
Dureza	130 HB	130 HB	150 HB
Densidade	8,42 g/cm ³	8,42 g/cm ³	8,42 g/cm ³
Elemento	Máx (%)	Máx (%)	Máx (%)
Cu	57,74	57,32	58,71
Bi	0,407	0,698	0,617
Sn	0,009	0,011	0,014
Ni	0,003	0,001	0,001
Fe	0,004	0,022	0,015
Pb	0,018	0,017	0,073
Al	0,001	0,001	0,001
Zn	41,80	41,91	40,41
Si	0,003	0,001	0,137
Outros	0,2	0,2	0,2

3.2. Centro de maquinagem

Os ensaios laboratoriais de fresagem e furação foram realizados no Laboratório de Tecnologia Mecânica (LTM) do Departamento de engenharia Mecânica (DEM) da UA. O Centro de Maquinagem CNC Vertical utilizado, VCE 500 da MIKRON, atinge a rotação máxima de 7500 rpm (rotações por minuto) e possui um armazém de 20 ferramentas (Figura 8). Tem uma potência de 11 kW e o binário de 102 Nm às 1400 rpm.



Figura 8: Centro de Maquinagem CNC Vertical MIKRON VCE 500.

(Cortesia do DEM – UA)

3.3. Ferramentas de corte

Para as operações de fresagem foram utilizadas fresas para trabalhos de semi-acabamento e desbaste da marca Sandvik, modelo CoroMill® Plura R216.32 – 06030 – AC10P 1020 (K10). São fresas de topo inteiriças, de metal duro, com um diâmetro de 6 mm e altura de corte máxima de 10 mm.

Nas operações de furação foram utilizadas brocas helicoidais da marca GUHRING, modelo Stub Drill – DIN 6539 – Nº 730. São brocas inteiriças, de metal duro, com um diâmetro de 5 mm e profundidade máxima de corte de 15mm.

Na Figura 9 são apresentadas as ferramentas utilizadas nas operações de fresagem (Figura 9, a) e nas operações de furação (Figura 9, b).

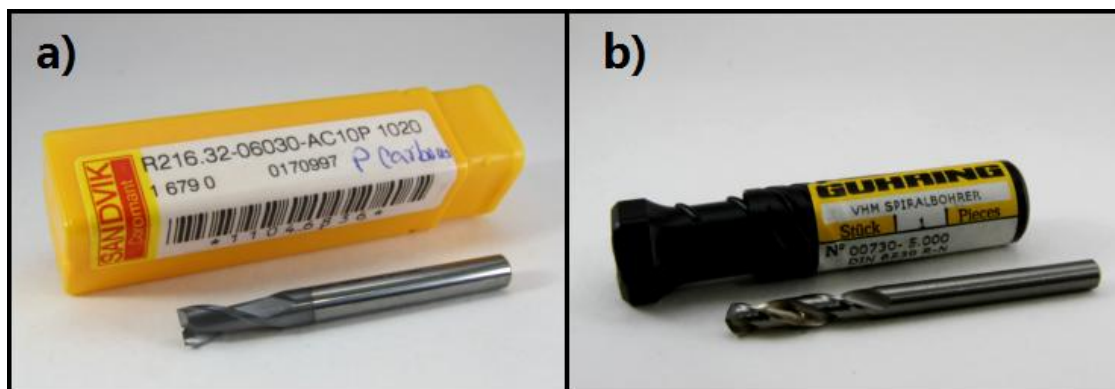


Figura 9: Ferramentas utilizadas: a) Fresas CoroMill® Plura R216.32 – 06030 – AC10P 1020, b) Brocas Stub Drill – DIN 6539 – N° 730.

3.4. Equipamento de MQL

O equipamento de MQL usado neste trabalho foi o Coolubricator JR™ (Figura 10), fabricado pela empresa UNIST. As suas reduzidas dimensões, aliadas às suas bases de montagem magnética tornam o Coolubricator JR™ numa solução compacta e portátil em que um único bocal consegue oferecer uma lubrificação adequada e um controlo manual on/off.^{X1}



Figura 10: Coolubricator JR™.^{X2}

^{X1} Informação retirada do sítio do fabricante do equipamento <http://unist.com/uploads/LIT/coolubricator-jrLIT.pdf>, disponível a 29 de maio de 2012.

^{X2} Informação retirada do sítio do fabricante do equipamento, <http://unist.com/solutions/machining-cutting/coolubricator-jr.html>, disponível a 29 de maio de 2012.

O aparelho produz um débito constante de lubrificante medido com precisão, uma vez que combina ar comprimido com uma pequena quantidade de lubrificante, formando assim um aerossol que lubrifica e arrefece a zona de maquinagem. Requer uma linha de ar comprimido de, no mínimo 45 PSI (3.1 bar) e consegue debitar lubrificante num intervalo de 0 até 360 ml/h. Permite ajustar a saída do fluido lubrificante através de impulsos, variando de 4 até 200 impulsos por minuto (imp/min), com 0.1 até 3.0 gotas de lubrificante por impulso.

Permite também ajustar a quantidade de lubrificante dispensada com elevada precisão, podendo esta variar de 0 a 0.033 mililitros por impulso.

A Figura 11 mostra este equipamento montado no centro de maquinagem CNC onde foram realizados os ensaios.

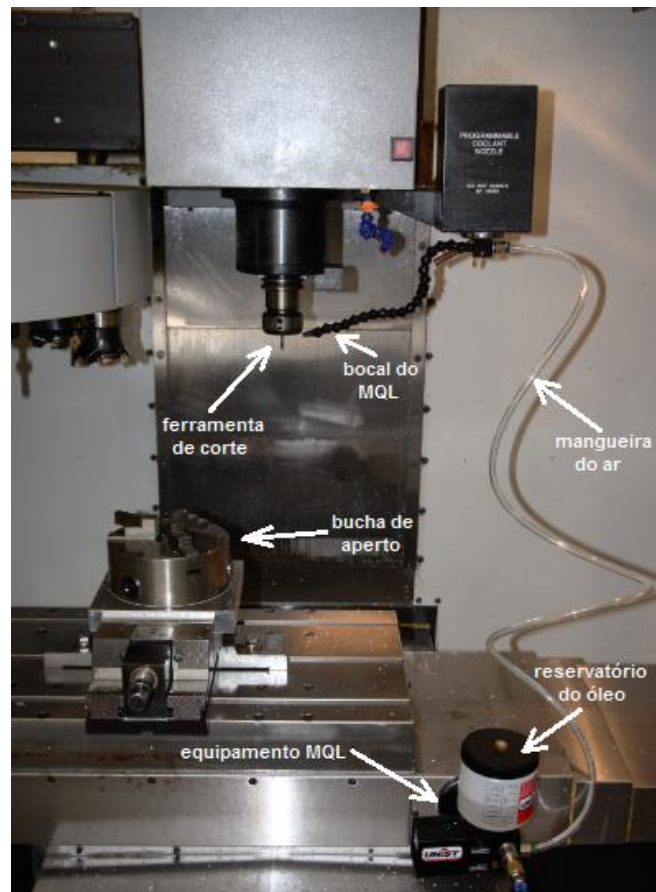


Figura 11: Coolubricator JR™ instalado no centro de maquinagem CNC.

3.4.1. Parâmetros de lubrificação

Como foi atrás mencionado, testaram-se os vários latões sob duas formas diferentes de lubrificação, abundante e MQL. No caso da LA, a lubrificação foi diretamente acionada pelo programa inserido na máquina CNC, mas no caso do MQL, foi necessário ajustar o equipamento de modo a este debitar o caudal escolhido, ou seja, 50 ml/h de lubrificante.

De acordo com o gráfico do manual do equipamento (Anexo 1), para se obter o caudal de 50 ml/h fixou-se o valor máximo de 0.033 ml/imp, tendo para isso que o regulador estar na sua posição inicial. De seguida verificou-se que para esta quantidade debitada por cada impulso, era necessário ajustar o calibrador de impulsos para 25 imp/min.

Uma vez que a quantidade de lubrificante usada nos ensaios de fresagem e de furação é igual, o equipamento de MQL foi regulado para 25 impulsos por minuto, com um caudal de 0.033 mililitros cada. Foi usada uma linha de pressão de ar com 5 bar.

3.5. Lubrificantes

Nos ensaios realizados com lubrificação abundante foi usada uma emulsão á base de óleo mineral da marca BP, modelo Fedaro 16. Esta emulsão contém uma concentração de óleo que pode variar entre 7 a 10% relativamente à água.

Para os ensaios com o equipamento de MQL, utilizou-se o lubrificante COOLUBE® 2210, também este da marca UNIST. É um lubrificante 100% natural de base vegetal, especialmente eficaz em metais não-ferrosos, apesar de ser compatível com outros metais, madeira, borracha e a maioria dos plásticos.^{X3}

Segundo o fabricante, este lubrificante de elevada qualidade apresenta várias vantagens em relação aos lubrificantes de base mineral, uma vez que melhora o desempenho e aumenta a vida útil das ferramentas ao reduzir o atrito em cerca de 50%, podendo gerar um eventual aumento de produtividade. Se for usado de forma adequada, este lubrificante consegue gerar aparas quase secas e limpas, reduzindo os custos de reciclagem das mesmas, e ao mesmo tempo que torna mais fácil a limpeza da máquina,

anula a necessidade de tratar ou eliminar o fluido refrigerante que normalmente se acumula durante o processo.

Além disso, este lubrificante é amigo do ambiente uma vez que é 100% biodegradável e produzido a partir de óleos vegetais renováveis, não apresentando riscos para a saúde e bem-estar do utilizador.^{X3}

3.6. Planeamento dos ensaios efectuados

Inicialmente foram cortadas seis amostras de cada tipo de latão, tendo cada uma cerca de 18 mm de espessura. Esta medida foi planeada para que a mesma amostra de latão servisse para realizar numa fase inicial os ensaios de fresagem, e posteriormente os ensaios de furação permitindo assim utilizar a menor quantidade de material possível gerando também a menor quantidade de resíduos.

Os latões foram numerados de um a cinco e as amostras de um a seis de forma a puderem distinguir-se entre si ao longo do trabalho como se pode ver na Figura 12. Desta forma foi também possível distinguir as duas faces (superior e inferior) de cada amostra através da orientação dos números que identificavam a mesma.

As seis amostras de cada um dos cinco tipos de latões foram divididas de acordo com o tipo de lubrificação aplicada, sendo que para a LA foram usadas as amostras 1 e 2, para a MQL as amostras 3 e 4 e para os testes a seco as amostras 5 e 6.

^{X3} Informação retirada do catálogo Coolube® Advanced Metal Cutting Lubricant da empresa UNIST, <http://unist.com/uploads/LIT/lubricantsLIT.pdf>, disponível a 30 de maio de 2012.



Figura 12: Identificação dos latões: a) De acordo com o tipo; b) De acordo com a amostra.

3.6.1. Fresagem

Para os ensaios de fresagem foram definidas quatro velocidades de avanço, e por cada uma, variou-se a velocidade de corte três vezes. Uma vez que a ferramenta utilizada tem 6 mm de diâmetro, foram realizadas três pistas nas faces de cada amostra, cada uma com 2 mm de profundidade e 1 mm de espaçamento entre elas. Assim sendo, em cada amostra de latão foram realizadas seis passagens como se pode ver no esquema da Figura 13.

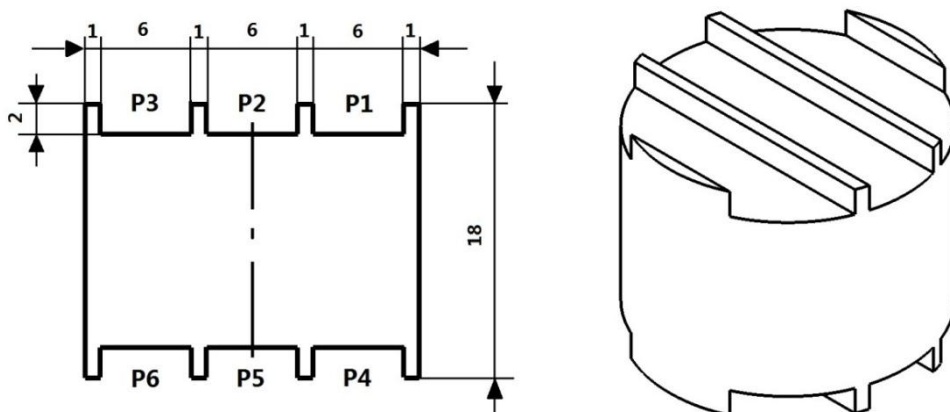


Figura 13: Esquema do ensaio de fresagem.

Na Tabela 4 encontram-se os parâmetros de corte utilizados nos ensaios.

Tabela 4: Parâmetros de corte usados na fresagem.

Furo	Vc (m/min)	$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$ (rpm)	Avanço (f)	
			(mm/rot)	(mm/min)
1	60	3183	0,03	95,49
2	90	4775	0,03	143,25
3	130	6896	0,03	206,88
4	60	3183	0,06	190,98
5	90	4775	0,06	286,5
6	130	6896	0,06	413,76
7	60	3183	0,12	381,96
8	90	4775	0,12	573
9	130	6896	0,12	827,52
10	60	3183	0,24	763,92
11	90	4775	0,24	1146
12	130	6896	0,24	1655,04

De forma a encurtar ao máximo o tempo total de maquinagem, foi calculado um percurso estratégico para a ferramenta nos ensaios de fresagem. Como se pode ver na Figura 14, os deslocamentos entre cada passagem foram os mais curtos possíveis desde que a ferramenta não danificasse as paredes das amostras, permitindo assim realizar os ensaios da forma mais rápida e precisa possível. O código do programa usado no centro de maquinagem, associado aos ensaios de fresagem encontra-se no Anexo 2.

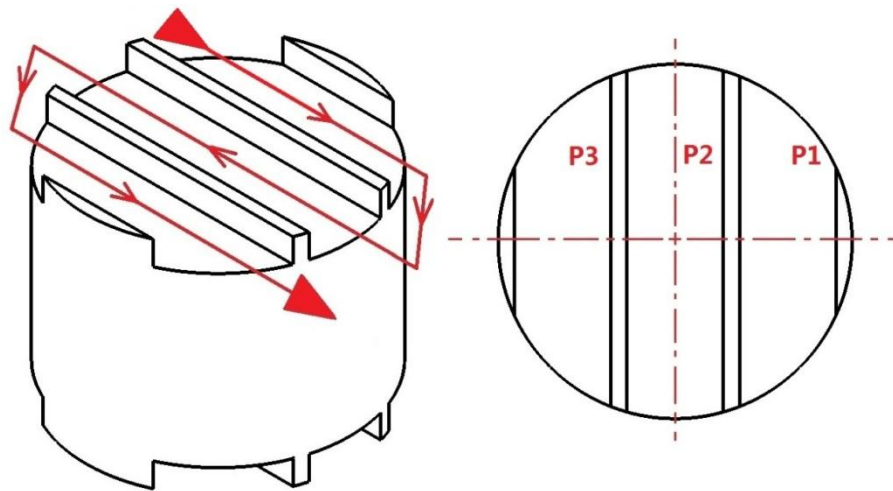


Figura 14: Percurso da ferramenta no ensaio de fresagem.

No esquema da Figura 15 pode observar-se a organização dos parâmetros usados nos ensaios de fresagem de cada amostra de latão consoante o tipo de lubrificação utilizado. Foram usados os mesmos parâmetros de corte nos dois tipos de lubrificação e na maquinagem a seco para que depois se pudessem comparar os resultados.

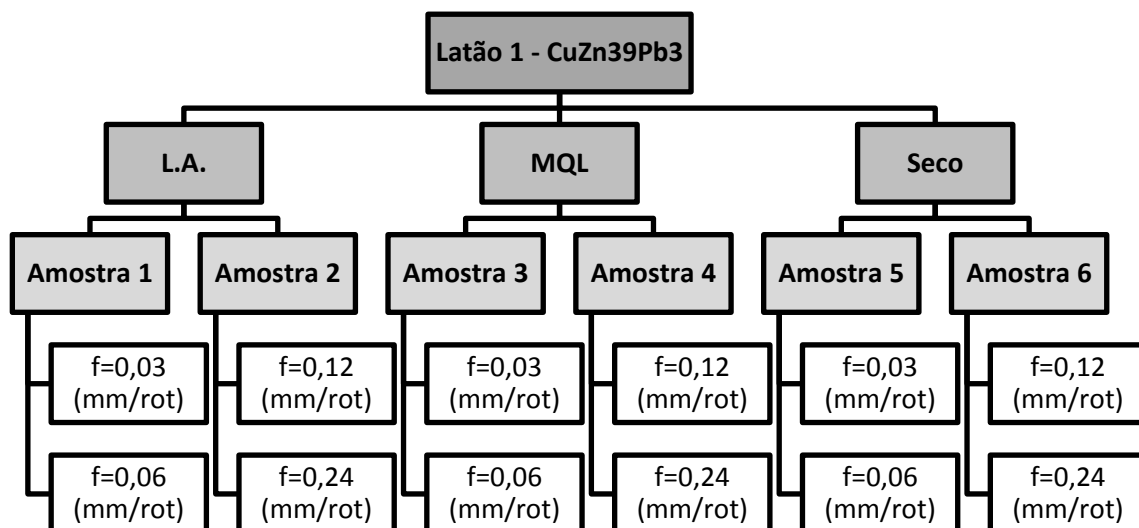


Figura 15: Esquema de fresagem de 1 tipo de latão.

3.6.2. Furação

Nos ensaios de furação, à semelhança da fresagem, usaram-se quatro velocidades de avanço, cada uma com três velocidades de corte. Uma vez que a broca usada tinha 5 mm de diâmetro foi possível realizar seis furos em cada amostra, como se pode ver no esquema da Figura 16. Desta forma, o número de amostra de cada latão serviu tanto para os ensaios de fresagem como de furação, desperdiçando o mínimo de material possível.

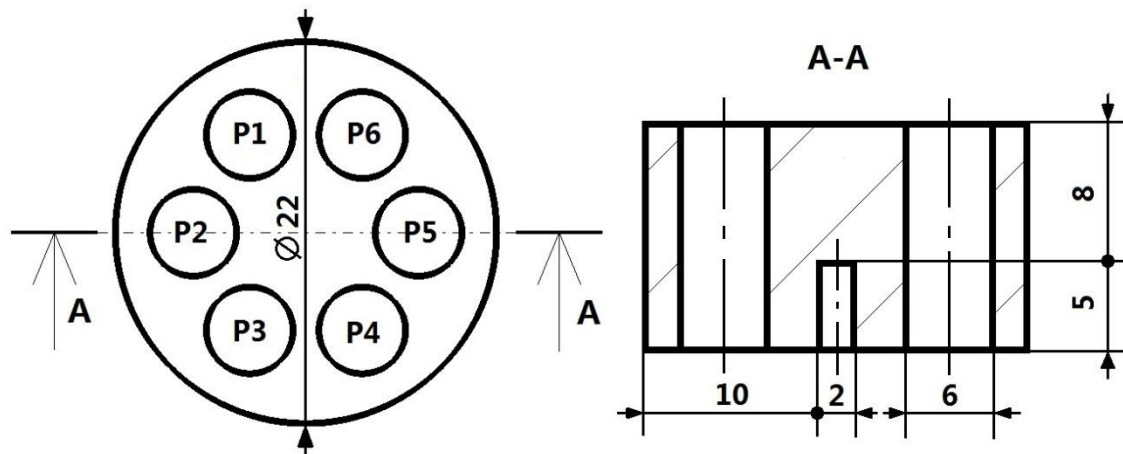


Figura 16: Esquema do ensaio de furação.

Na vista de corte A-A da Figura 16, é possível observar um furo de diâmetro 2 mm e 5 mm de profundidade, onde foi introduzido o termopar que serviu para registrar a temperatura da amostra ao ser maquinada.

Apesar de não ser um dos objetivos principais deste trabalho, decidiu-se registrar a variação de temperatura na peça durante os ensaios de furação, de forma a comparar as características de refrigeração do aerossol projetado pelo equipamento de MQL, com a capacidade de refrigerar da LA.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de corte usados nos ensaios. Uma vez que o latão não é um material difícil de maquinar, os seis furos realizaram-se sem qualquer tipo de intervalo entre eles.

Tabela 5: Parâmetros de corte usados na furação.

Furo	Vc (m/min)	$n = \frac{Vc \cdot 1000}{\pi \cdot D}$ (rpm)	Avanço (f)	
			(mm/rot)	(mm/min)
1	50	3183	0,05	159,15
2	80	5092	0,05	254,6
3	110	7003	0,05	350,15
4	50	3183	0,10	318,3
5	80	5092	0,10	509,2
6	110	7003	0,10	700,3
7	50	3183	0,20	636,5
8	80	5092	0,20	1018,4
9	110	7003	0,20	1400,6
10	50	3183	0,40	1273,2
11	80	5092	0,40	2036,8
12	110	7003	0,40	2801,2

Na Figura 17 pode observar-se o percurso realizado pela broca, durante a execução dos vários programas de furação que se disponibilizam no Anexo 3.

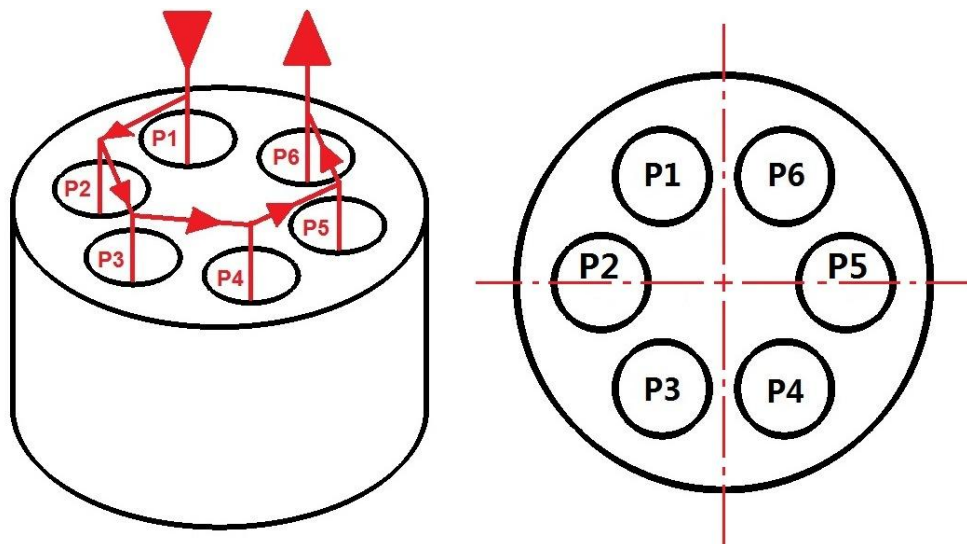


Figura 17: Estratégia do ensaio de furação.

A Figura 18 apresenta o esquema de furação de 1 latão, idêntico ao usado nos outros latões.

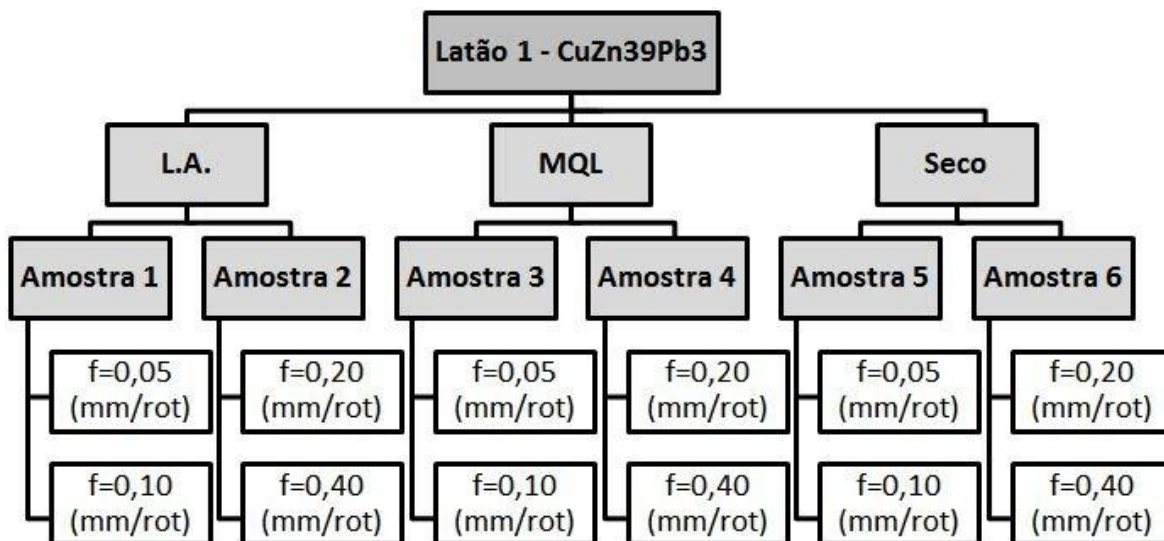


Figura 18: Esquema de furação de 1 latão.

3.7. Medição da Temperatura na Peça

Com o objetivo de se avaliar a influência dos métodos de lubrificação usados (MQL e LA) na temperatura gerada na peça nos ensaios de furação, utilizou-se um termómetro digital da marca FLUKE, modelo 51 Series II (Figura 19), para registar as variações de temperatura das amostras ensaiadas. O aparelho regista a temperatura através de um termopar do tipo k (Chromel Vs Alumel), apresentando os valores com elevada precisão (+/- 1,1°C) e uma resposta muito rápida às variações de temperatura.



Figura 19: Termómetro FLUKE 51 Series II.

Para grandes eventos, este equipamento possui um relógio de tempo relativo que permite registar a temperatura máxima, mínima e média, lidas ao longo do ensaio.

De modo a registar a temperatura das amostras foi necessário realizar um furo no centro da zona inferior de cada amostra com a profundidade de 5 mm e um diâmetro de 2 mm, para que a ponta do termopar entrasse de forma justa e ficasse em contacto com as paredes do furo.

Registou-se a temperatura máxima atingida durante a realização contínua dos seis furos em cada amostra.

Foi ainda realizado um suporte para encaixar na bucha que fixou as amostras, Figura 20, de forma a assegurar que a interface entre o termopar e cada uma das amostras testadas seria o mais idêntica possível durante os ensaios de furação. O material escolhido para este suporte foi o Ureol uma vez que é fácil de maquinar e apresenta uma elevada estabilidade dimensional.

Na Figura 20 b) os furos que se encontram á volta do termopar foram realizados com uma profundidade de 3 mm e uma largura de 7 mm para que formação de rebarbas de saída ocorresse de forma natural.

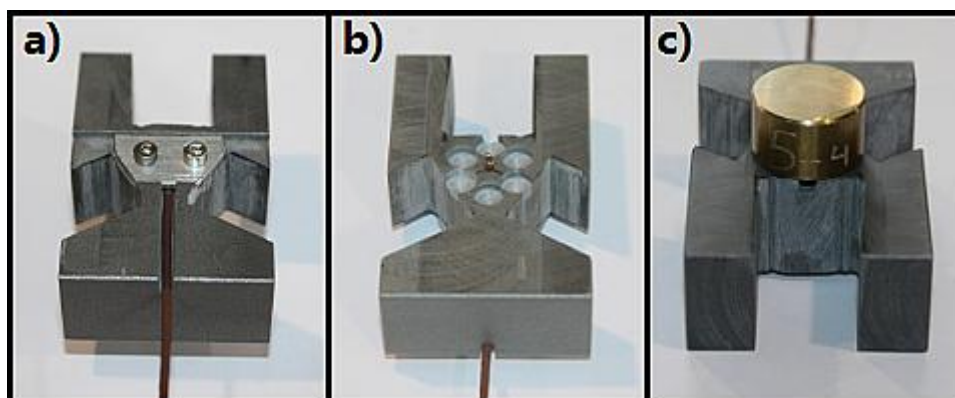


Figura 20: Suporte feito em Ureol: a) Vista de baixo, b) Vista de cima, c) Vista de cima com amostra de latão.

A Figura 21 exhibe uma amostra de latão com o furo para o termopar (Figura 21, a), a broca de ponta de 2 mm usada para iniciar o furo (Figura 21, b) e a broca de 2 mm usada para o concluir (Figura 21, c).

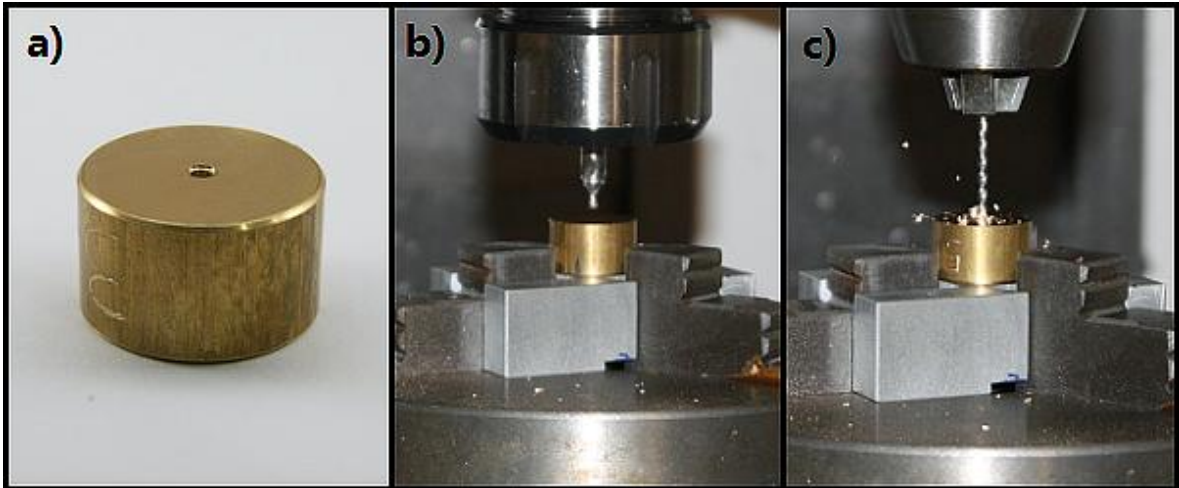


Figura 21: Abertura do furo para o termopar: a) Amostra furada, b) Broca de ponta de 2 mm, c) Broca de 2 mm.

A Figura 22 apresenta o sistema de fixação usado (bucha) com a amostra de latão assente no suporte de Ureol e o termopar instalado e pronto a usar.

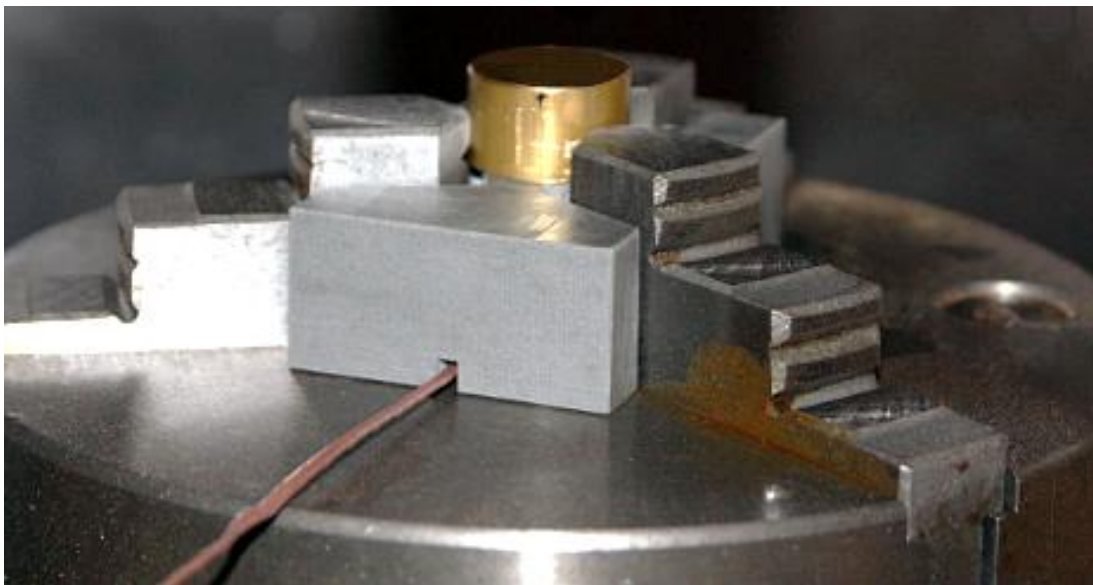


Figura 22: Sistema de fixação com termopar instalado.

3.8. Análise das superfícies maquinadas

A análise da qualidade superficial das amostras efetuou-se com o auxílio de dois equipamentos diferentes, um rugosímetro e um microscópio.

3.8.1. Rugosímetro

O equipamento utilizado, Hommel Tester T1000 (Figura 23), é um rugosímetro eletromecânico composto por duas unidades principais que são a unidade de apalpação, Figura 23 a, e uma unidade de processamento de dados com impressora Figura 23 b.

A unidade de apalpação assenta numa base nivelada, onde também se colocam as amostras a medir, e possui uma agulha de diamante, que ao percorrer a superfície das amostras numa linha reta, traduz os defeitos encontrados em sinais elétricos, enviando-os depois para a unidade de processamento que realiza os cálculos dos parâmetros escolhidos previamente. Os dados obtidos podem ser apresentados no ecrã da unidade de processamento ou em papel através da impressora incorporada.

Há alguns parâmetros de extrema importância como a Rugosidade média aritmética (R_a), a Rugosidade média geométrica (R_q) e a Rugosidade total (R_t). Tanto estes como os outros parâmetros que foram escolhidos se encontram descritos na Tabela 6.

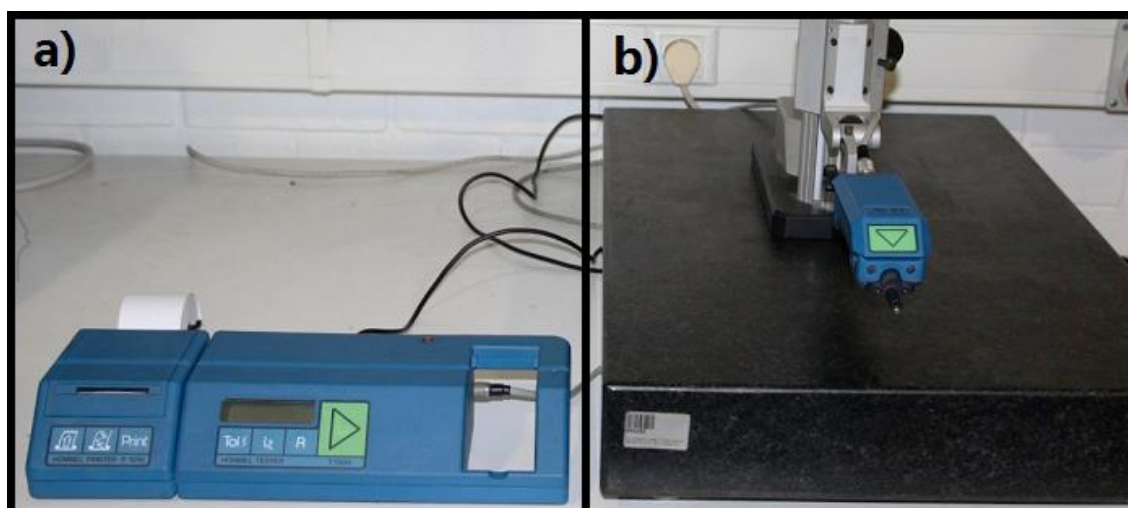


Figura 23: Hommel Tester T1000: a) unidade de apalpação, b) unidade de processamento com impressora.

Tabela 6: Descrição dos parâmetros de rugosidade usados.

Filtro	Descrição
Lt	Comprimento de palpagem ou de exploração – distância total percorrida pelo apalpador na superfície.
Lc	Comprimento de base ou “cut-off” – comprimento de amostragem.
Ra	Rugosidade média aritmética – distância entre cada ponto do perfil de rugosidade e a linha média no comprimento de cálculo.
Rzi	Profundidade individual da rugosidade – distância vertical entre maior pico e maior vale em Lc.
Rz DIN	Profundidade média da rugosidade (norma DIN) – média aritmética de Rzi de 5 comprimentos de base Lc.
Rm DIN	Rugosidade máxima (norma DIN) – valor máximo de Rzi.
Rp	Profundidade máxima de aplainamento – valor máximo da profundidade individual de aplainamento.
Rpm	Profundidade média de aplainamento – média aritmética das profundidades individuais de aplainamento.
Rq	Rugosidade média geométrica
R3z	Profundidade média da rugosidade do terceiro pico e vale - despreza os dois picos mais altos e os dois vales mais profundos.
Pt	Amplitude do perfil - diferença entre pico mais elevado e vale mais profundo do perfil efetivo.
Rt	Rugosidade total - diferença entre pico mais elevado e vale mais profundo do perfil de rugosidade.
Pc	Número de picos existentes no perfil efetivo.
C1	Distância da linha de nível superior à linha média.
C2	Distância da linha de nível inferior à linha média.
Sm	Distância horizontal (média) do passo da ondulação.

A medição das rugosidades, na fresagem e na furação, foi efetuada para que a apalpação feita pelo rugosímetro fosse no sentido perpendicular às estrias resultantes do processo.

Neste trabalho foi utilizado um filtro Rc , um comprimento de palpagem de 4,8 mm e um comprimento de base de 0,8 mm de acordo com a norma ISO/DIS 4287/1E.

3.8.2. Microscopia Óptica

O microscópio utilizado para analisar as superfícies maquinadas foi o *Nikon ECLIPSE LV150* (Figura 24). Este microscópio, além de estar equipado com uma ocular de 10x e

um conjunto de lentes de 5x, 10x, 20x, 50x e 100x que lhe conferem um poder de ampliação de 1000x, possui ainda acoplada uma câmara de vídeo que se encontra ligada ao computador e que permite a recolha de imagens através do software *Perfect Image v7.5*.

Este software possibilita o ajuste de certos parâmetros como a luminosidade e o tempo de exposição, permitindo assim o tratamento e recolha de imagens digitais em perfeitas condições que facilitaram a comparação do estado das superfícies para as diferentes velocidade de avanço e de corte.

Durante a análise e recolha de imagens das superfícies maquinadas foram utilizadas a ocular de 10x e a objetiva de 5x, o que totaliza uma ampliação de 50x.

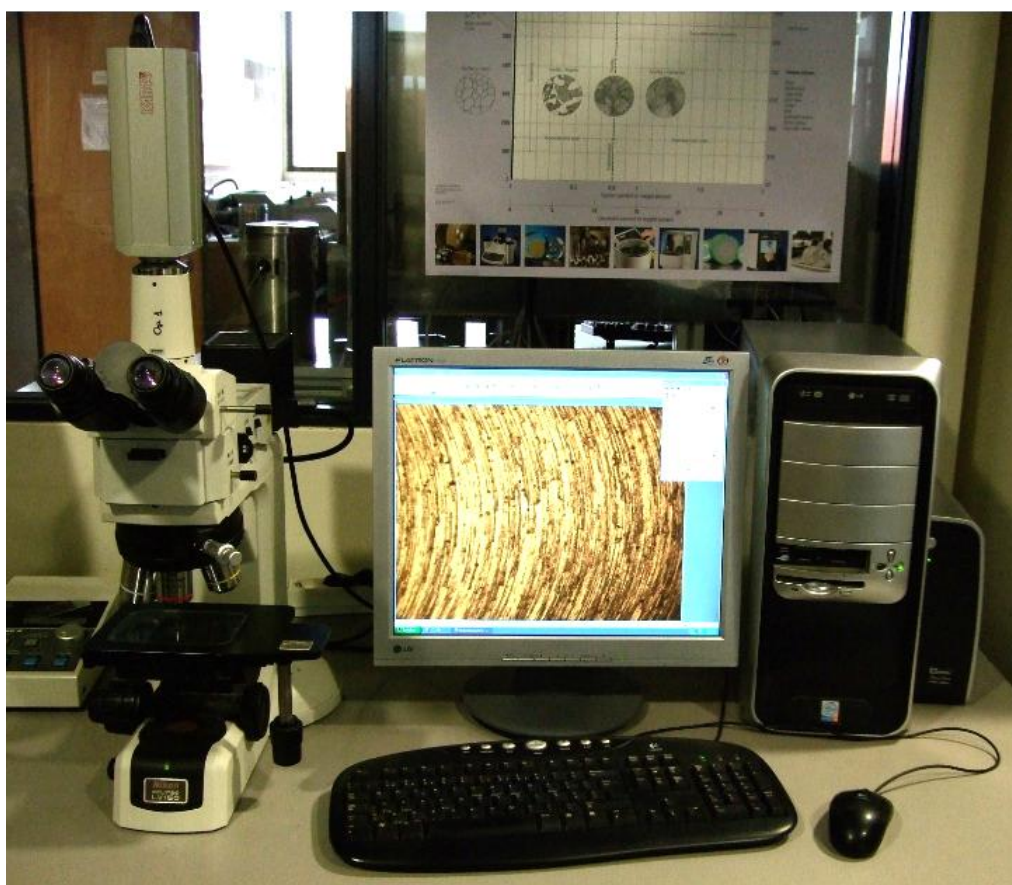


Figura 24: Microscópio Nikon ECLIPSE LV150 com o software *Perfect Image v7.5*.

4. Resultados Obtidos e Sua Discussão

A maquinagem dos diversos latões com recurso às técnicas de LA (Lubrificação Abundante) e MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante) foi efetuada de acordo com o planeamento experimental definido anteriormente.

Os resultados obtidos na fresagem e na furação serão apresentados em função do tipo de material ensaiado (latão com chumbo ou com adição de bismuto) e do tipo de lubrificação usado (LA ou MQL).

4.1. Influência da Substituição do Chumbo e da MQL na Fresagem de Latões

A influência da substituição do chumbo e da MQL na fresagem de latões será avaliada, numa primeira fase, tendo em conta a análise dos parâmetros de rugosidade das superfícies obtidas, seguida da análise da presença de rebarbas e aparas e por fim uma análise microscópica.

4.1.1. Análise dos Parâmetros de Rugosidade

A Figura 25 e a Figura 26 apresentam os perfis de rugosidade dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 4 (ECOASB20-Z2.1), respetivamente, maquinados sob as mesmas condições, uma velocidade de corte de 60 m/min e um avanço de 0,12 mm/rot.

Os perfis da Figura 25 dizem respeito ao latão 1 (CuZn39Pb3), para as condições de LA (Figura 25, a), MQL (Figura 25, b) e sem lubrificação (Figura 25, c). Os perfis da Figura 26 dizem respeito ao latão 4 (ECOASB20-Z2.1), e apresentam-se dispostos pela mesma ordem dos perfis da figura anterior.

Verifica-se que existe uma semelhança entre os perfis de rugosidade da maquinagem com LA e MQL, em ambas as figuras. Notar que o perfil referente à maquinagem a seco de ambas as figuras, esta numa escala 2,5 vezes superior aos perfis resultantes das maquinagens com lubrificação, o que nos leva a concluir que o perfil resultante da maquinagem a seco é bastante diferente dos restantes. Também é possível observar que os valores de Ra da maquinagem a Seco são substancialmente superiores aos da LA e MQL em ambos os latões. Apesar de não variarem muito, os valores de Ra obtidos com MQL são inferiores aos obtidos com LA em ambos os latões.

O efeito da substituição do chumbo pelo bismuto é notório uma vez que os valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) são todos inferiores aos do latão 1 (CuZn39Pb3).

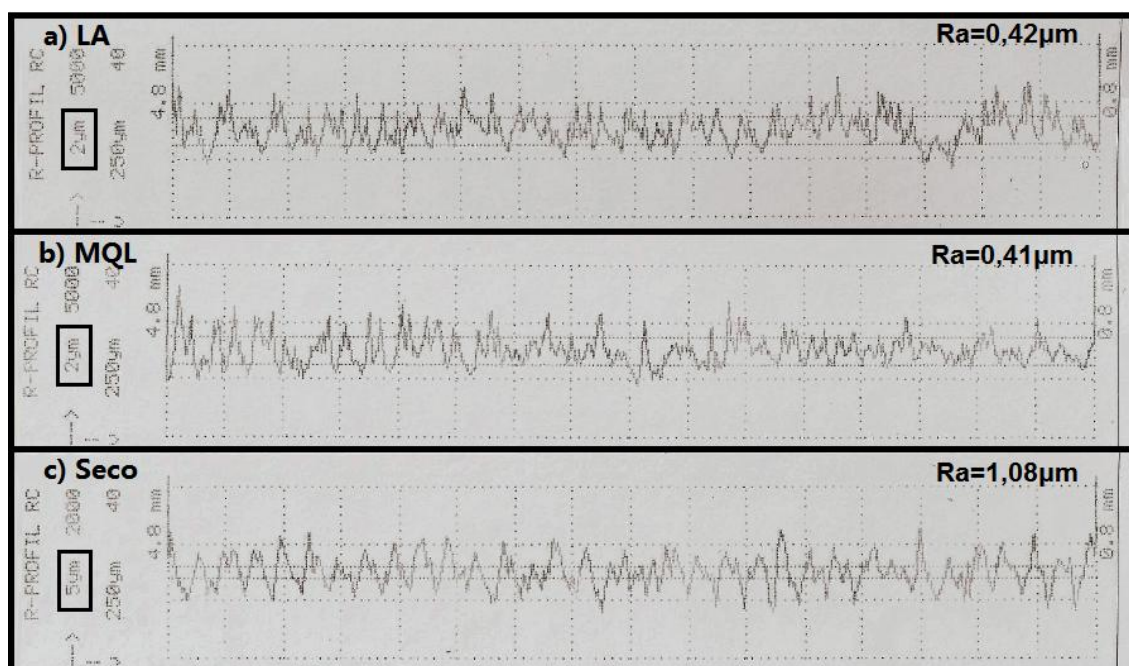


Figura 25: Perfis de rugosidade do latão 1 (CuZn39Pb3), para $V_c=60$ m/min, $f=0,12$ mm/rot nos ambientes: a) LA, b) MQL e c) Seco.

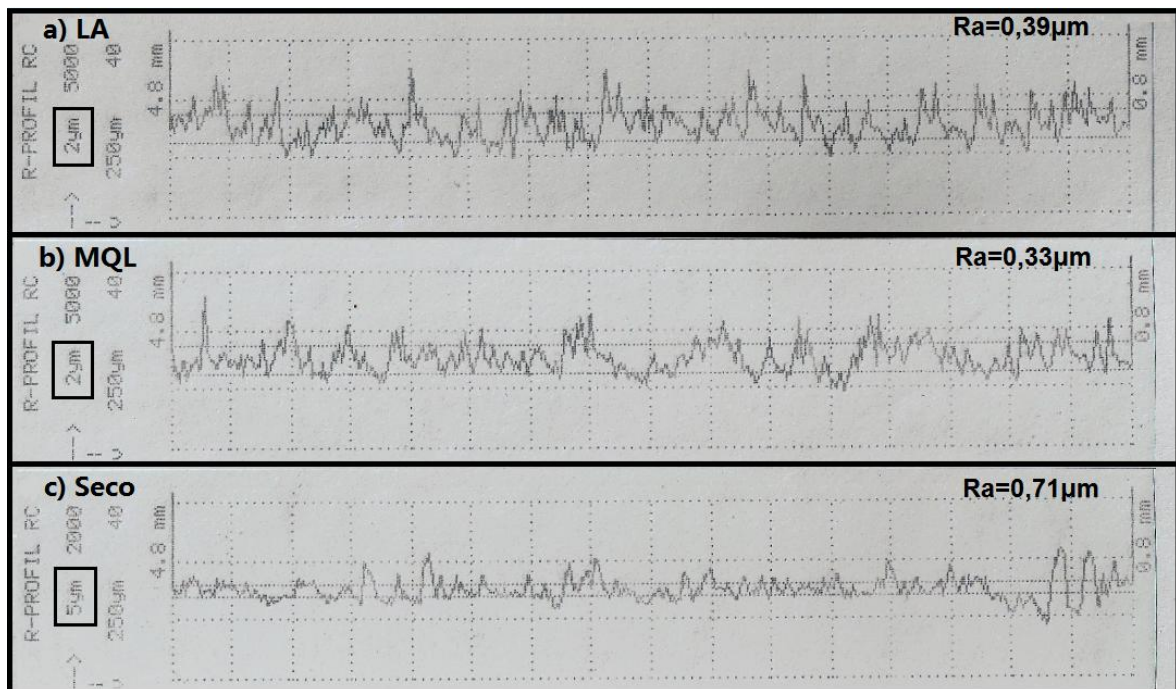


Figura 26: Perfis de rugosidade do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), para $V_c=60$ m/min, $f=0,12$ mm/rot nos ambientes: a) LA, b) MQL e c) Seco.

A Figura 27 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 1 (CuZn39Pb3) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, em condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

Verifica-se que a LA e a MQL tiveram comportamentos semelhantes pois os valores de Ra são muito parecidos.

Os valores de Ra obtidos na maquinagem a seco são superiores em todas as condições de corte relativamente à maquinagem com LA e MQL.

O efeito do avanço é notório em todas as condições de maquinagem e em todas as velocidades de corte pois o seu aumento faz aumentar também os valores de Ra. A velocidade de corte não mostrou ter um grande efeito na evolução dos valores de Ra.

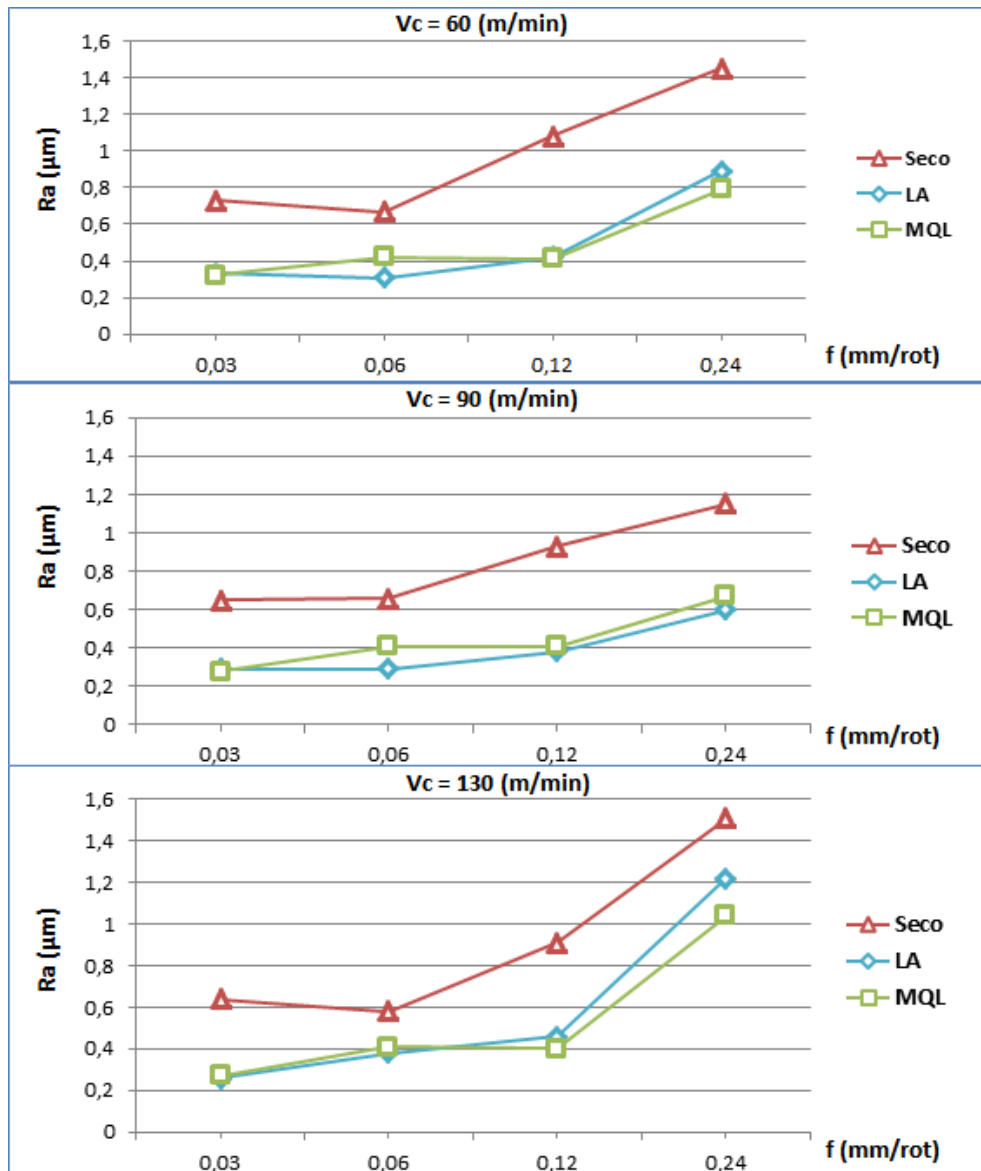


Figura 27: Valores de Ra do latão 1 (CuZn39Pb3) em função do avanço: a) Vc=60 m/min, b) Vc=90 m/min e c) Vc=130 m/min.

Na Figura 28 é visível a evolução dos valores de Ra do latão 2 (CuZn40Pb2) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, em condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

À semelhança do que se verificou para o latão 1 (CuZn39Pb3), também neste latão os valores de Ra para a LA e MQL foram muito semelhantes, à exceção do avanço de 0,12 mm/rot onde a MQL obteve valores de Ra mais baixos.

Neste latão também se verificou que o aumento do avanço fez aumentar os valores de Ra para todas as condições de maquinagem.

O efeito do chumbo entre os latões 1 (CuZn39Pb3) e 2 (CuZn40Pb2) é notório uma vez que o latão com menor quantidade de chumbo na sua composição (CuZn40Pb2) obteve valores de Ra superiores para todas as condições de corte e de maquinagem.

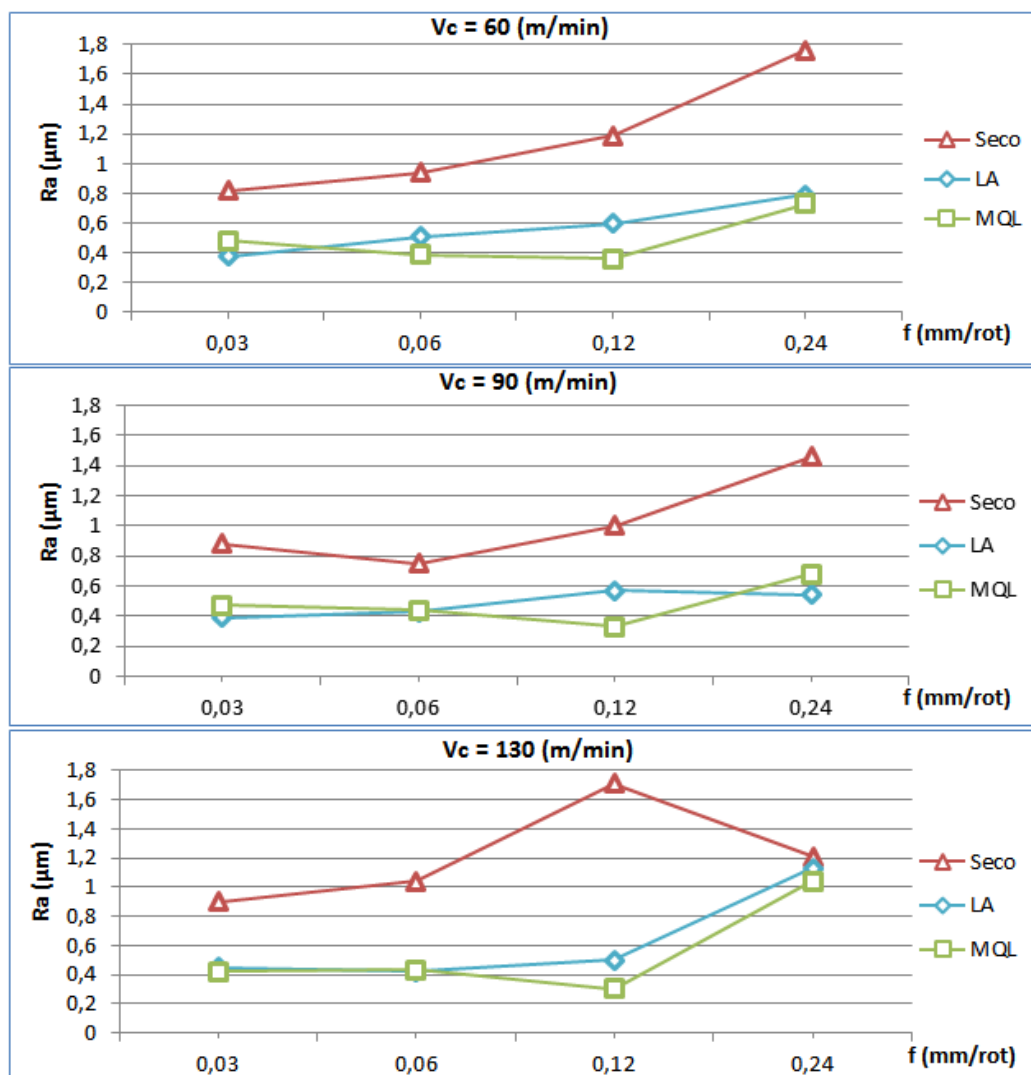


Figura 28: Valores de Ra do latão 2 (CuZn40Pb2) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.

Relativamente aos latões ecológicos, latões 3 (ECOASB20-AB2.1), 4 (ECOASB20-Z2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2), serão apresentadas a seguir as Figuras 29, 30 e 31. No caso destes latões, a maquinagem com MQL mostrou ser uma opção bastante vantajosa em

relação à LA, pois em quase todas as pistas maquinadas com MQL se obtiveram valores de Ra inferiores ou semelhantes aos das pistas maquinadas em LA. O efeito do avanço que se verificou nos latões com chumbo também se verificou nos latões ecológicos apesar de ser menos acentuado.

A Figura 29 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, nas condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

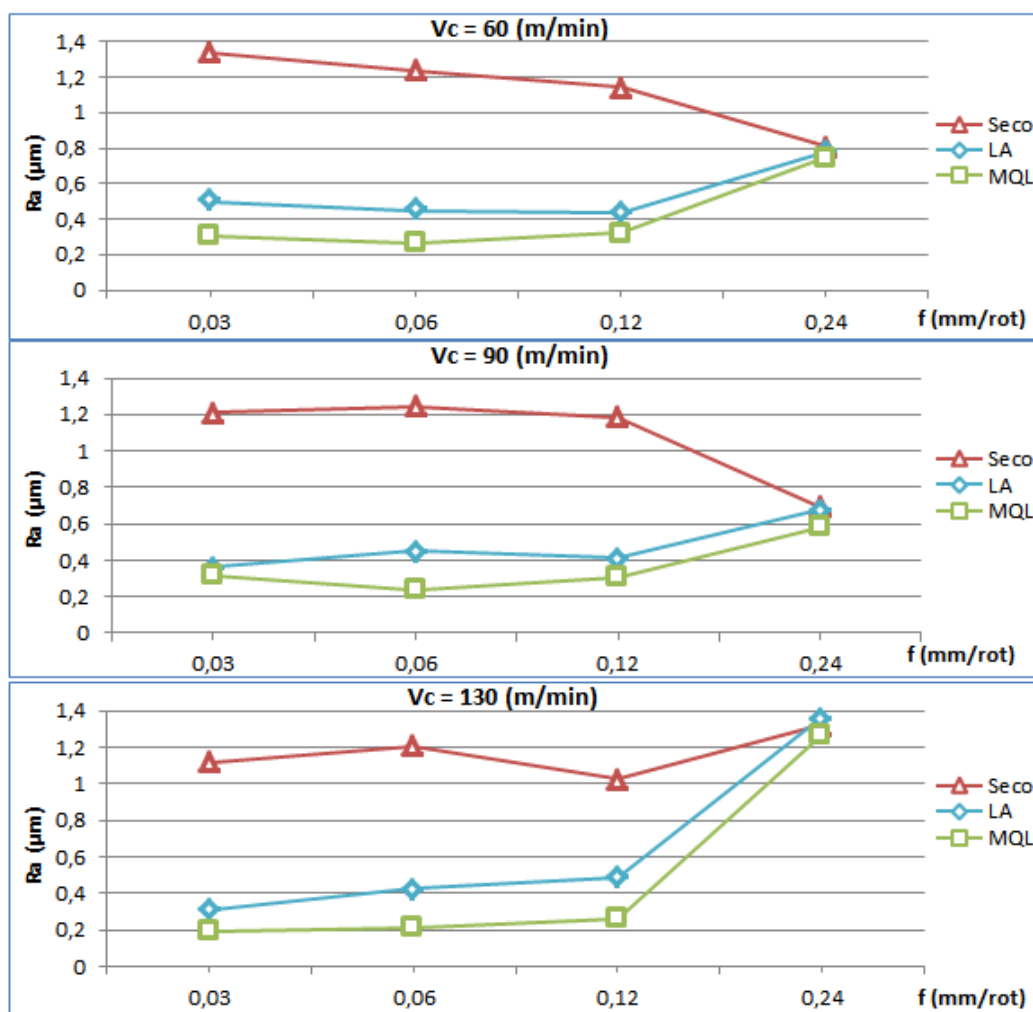


Figura 29: Valores de Ra do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.

Neste latão a técnica de MQL levou à obtenção de valores de Ra sempre inferiores aos da maquinagem realizada com LA, sendo o avanço de 0,06 mm/rot que mais se destacou pela positiva nas três velocidades de corte. No geral a maquinagem a seco deu origem a

valores de Ra mais elevados do que a MQL e a LA, mas para o avanço de 0,24 mm/rot os valores das três condições de maquinagem convergiram para um valor idêntico. Pensa-se que para um avanço tão elevado o efeito geométrico da ferramenta se sobrepõe a qualquer condição de maquinagem fazendo com que os valores convirjam para um só. O efeito geométrico da ferramenta verificou-se idêntico para os três latões ecológicos no avanço de 0,24 mm/rot.

A Figura 30 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, nas condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

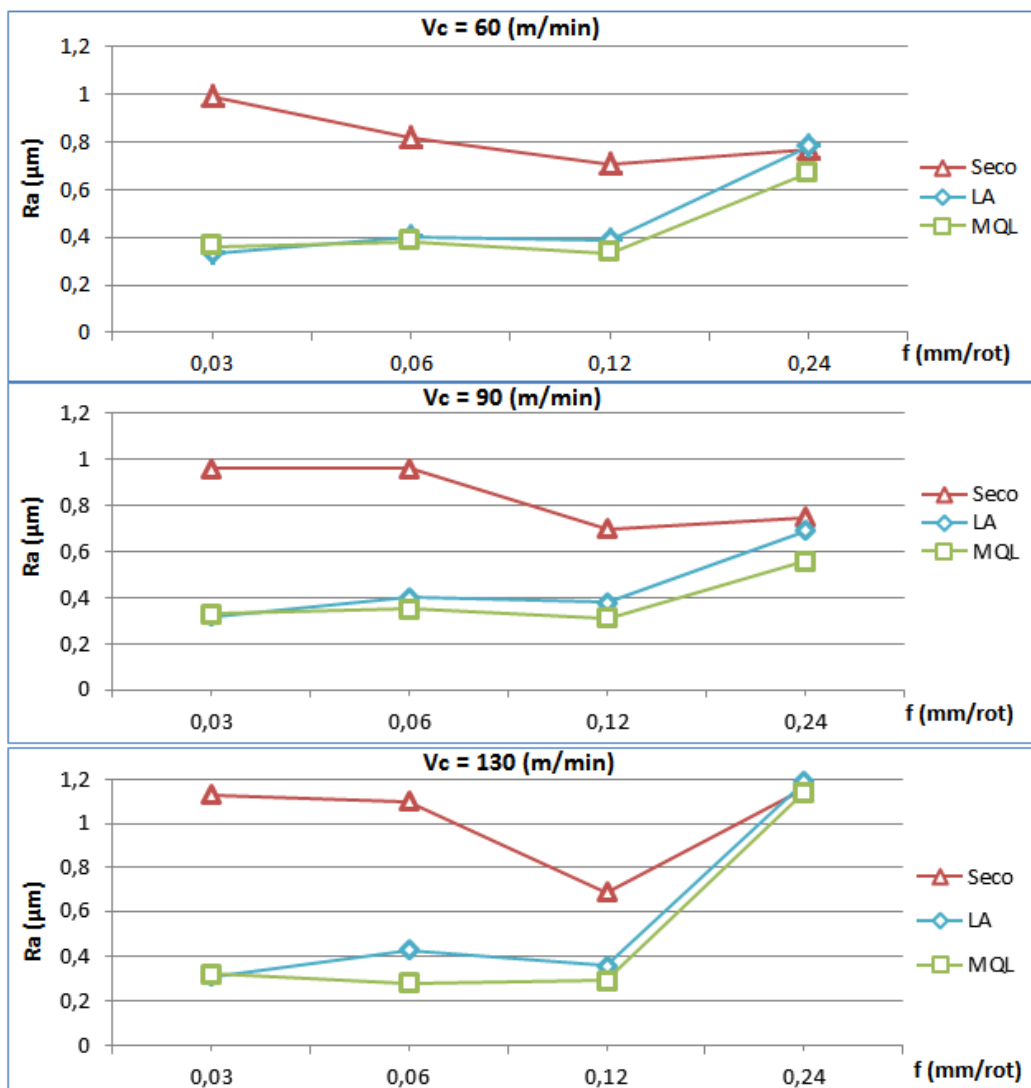


Figura 30: Valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.

Neste latão, apesar dos valores de Ra obtidos nas maquinagens com lubrificação serem muito idênticos, a MQL volta a obter valores mais baixos que a LA.

A Figura 31 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 5 (ECOASB20-AA.2) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, nas condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

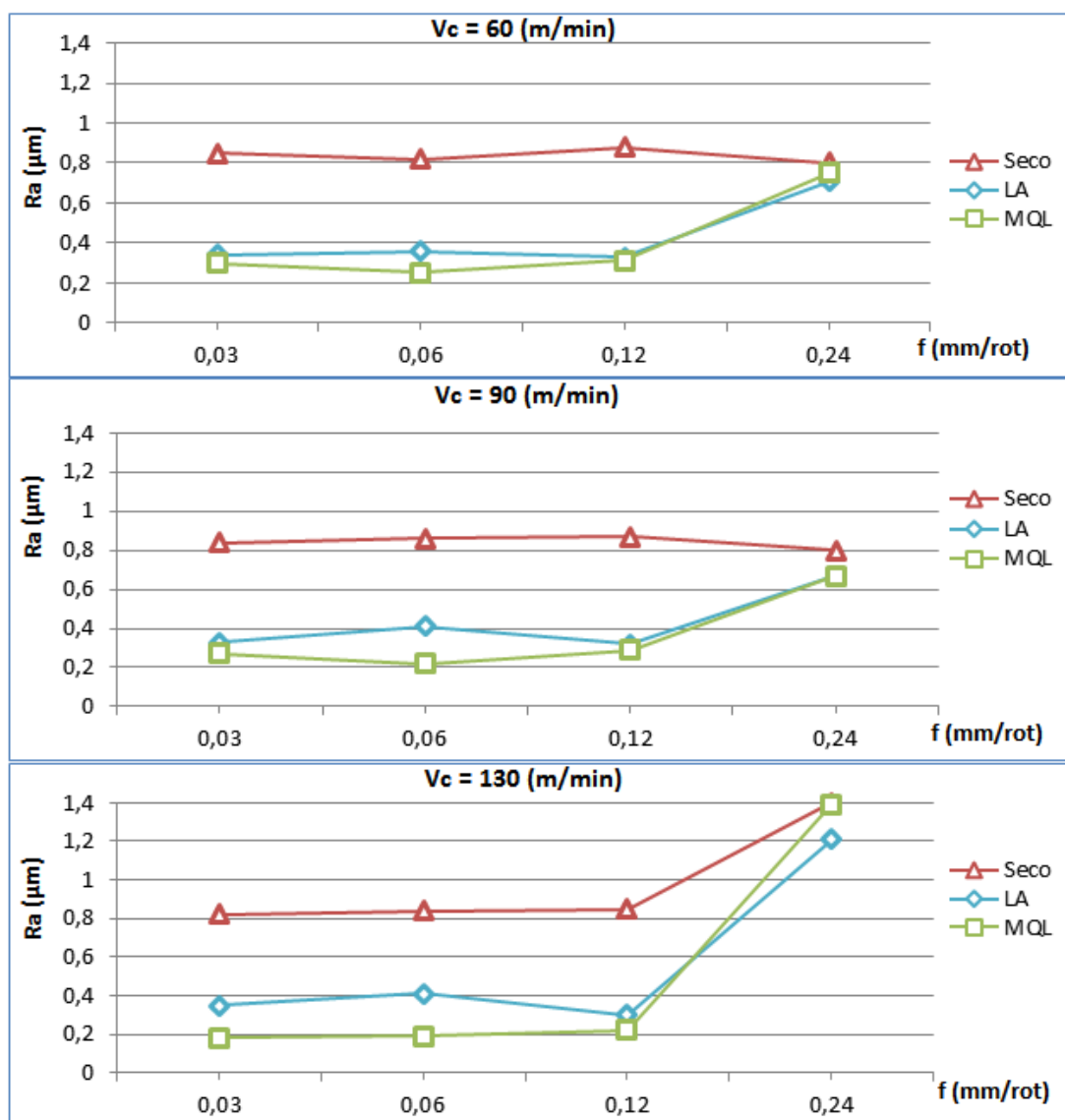


Figura 31: Valores de Ra do latão 5 (ECOASB20-AA.2) em função do avanço: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.

No latão 5 (ECOASB20-AA.2), a MQL volta a destacar-se pela positiva em relação à LA, obtendo valores de Ra melhores para todas as velocidades de corte entre os avanços de 0,03 e 0,12 mm/rot.

A Figura 32 apresenta os valores de Ra dos cinco latões, em função do avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, na condição de LA.

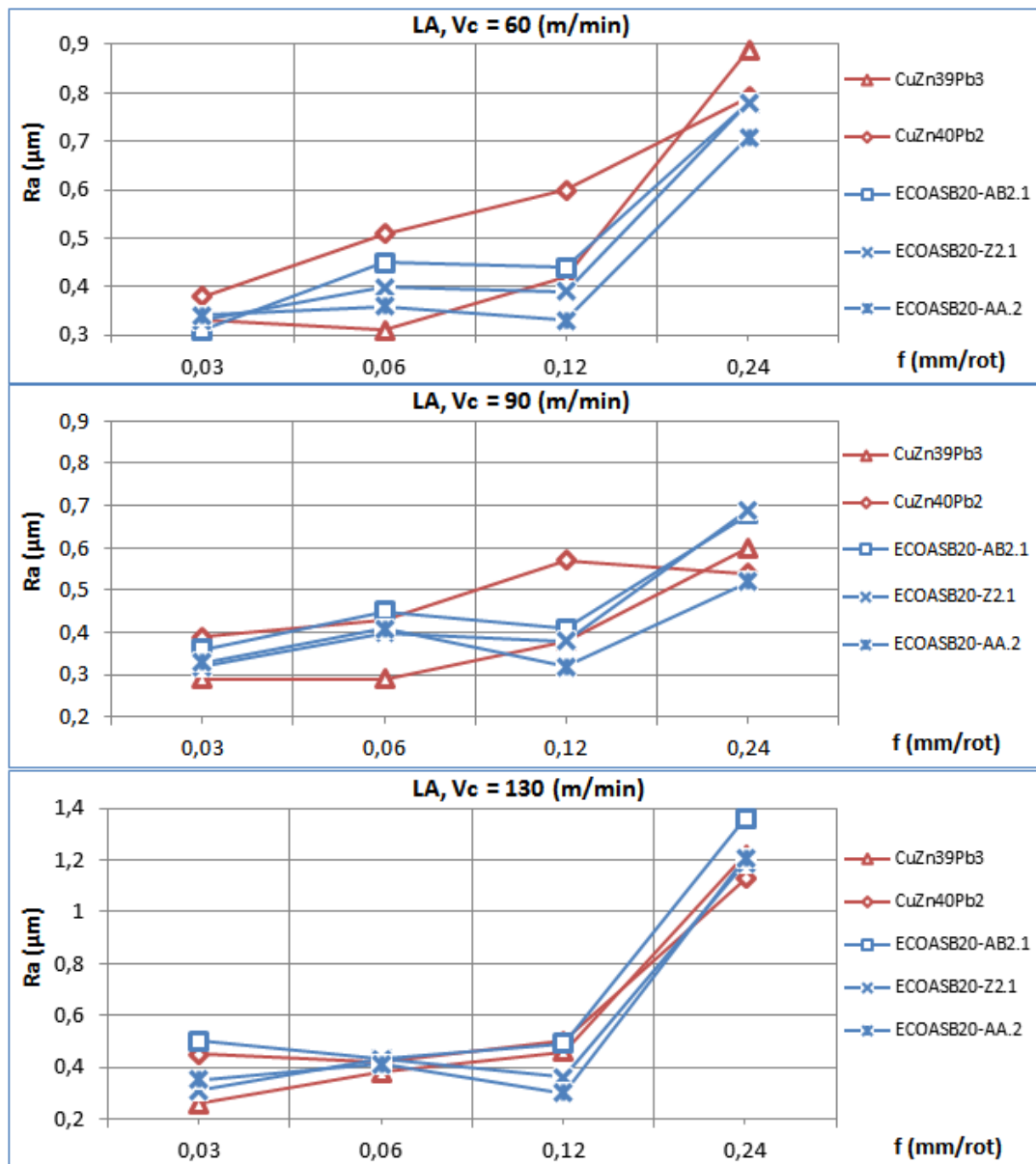


Figura 32: Valores de Ra dos 5 latões em função do avanço para a LA: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.

É visível o efeito da maior quantidade de chumbo no caso do latão 1 (CuZn39Pb3 – entre 2,5 e 3,5% de Pb) em relação ao latão 2 (CuZn40Pb2 – entre 1,6 e 2,5% de Pb), uma vez que permitiu obter valores de Ra quase sempre inferiores. Em relação aos três latões ecológicos o latão 1 (CuZn39Pb3) permitiu obter valores de Ra mais baixos apenas nos avanços mais lentos (0,03 e 0,06 mm/rot).

No geral, os latões ecológicos apresentam valores de Ra inferiores aos valores do latão 2 (CuZn40Pb2 - entre 1,6 e 2,5% de Pb). Entre os latões ecológicos, o latão 5 (ECOASB20-AA.2) revela valores de Ra mais baixos, seguido do latão 4 (ECOASB20-Z2.1).

A Figura 33 apresenta os valores de Ra dos cinco latões, em função do avanço para as velocidades de corte de 60, 90 e 130 m/min, na condição de MQL.

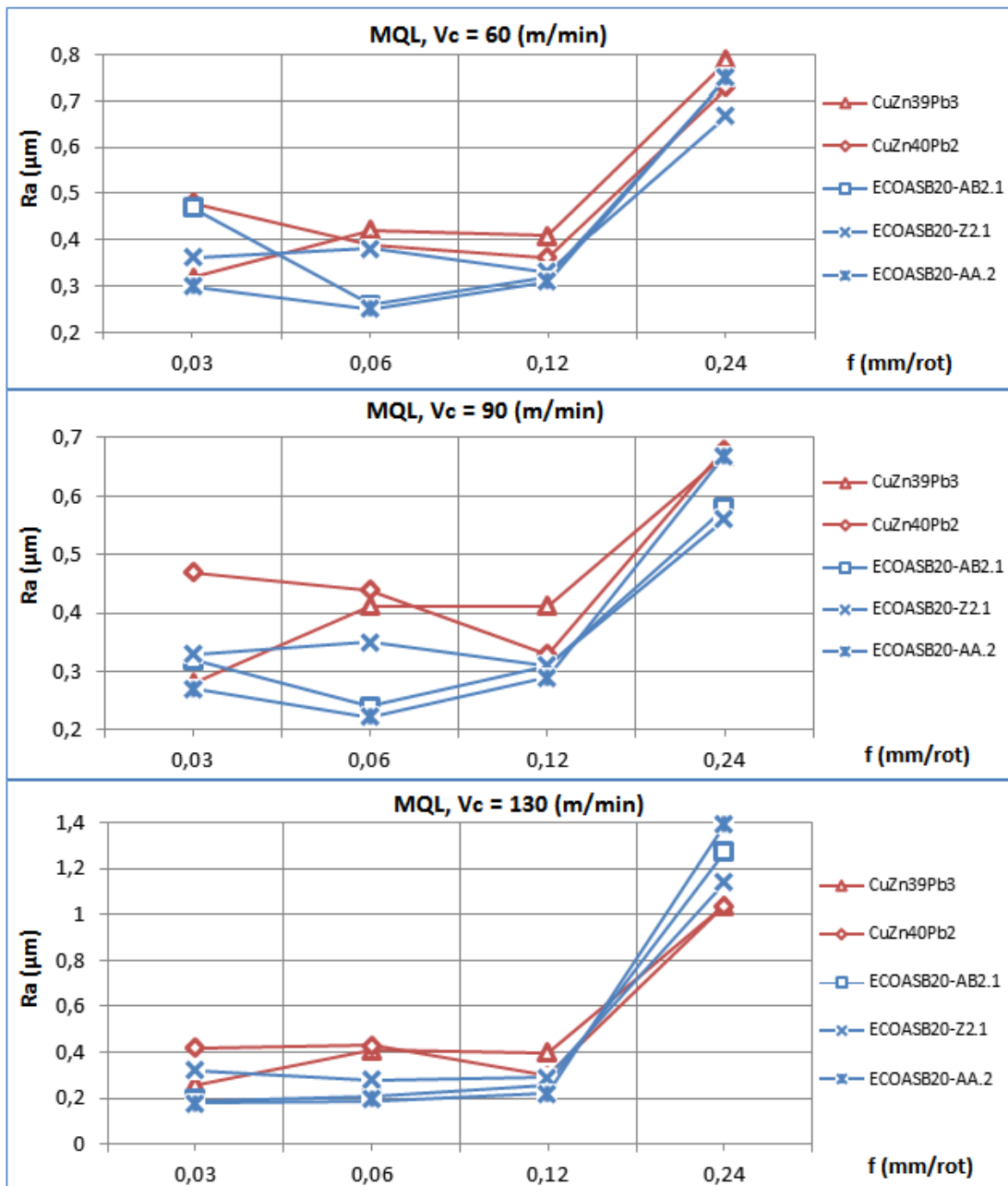


Figura 33: Valores de Ra dos 5 latões em função do avanço para a MQL: Vc=60 m/min, Vc=90 m/min e Vc=130 m/min.

Neste caso os três latões ecológicos obtêm valores de Ra quase sempre inferiores a ambos os latões com chumbo.

Como se pode verificar, a MQL permite baixar alguns dos valores de Ra, no caso dos latões ecológicos, em comparação com a LA (Figura 32 (anterior)), mostrando que a combinação desta técnica de lubrificação, usando lubrificantes biodegradáveis, com latões ecológicos é uma boa solução á maquinagem de latões convencionais com LA.

4.1.2. Aspeto Visual das Amostras (Análise de Rebarbas e Aparas)

Dois dos aspectos mais importantes na maquinagem sustentada é a redução do uso de materiais não renováveis ou tóxicos e ainda a redução de geração de resíduos. Desta forma, o estado de limpeza das peças maquinadas assim como das aparas que resultam do processo é de extrema importância, pois se estas forem contaminadas com óleos tornam-se mais difíceis de reciclar.

O estado de limpeza das amostras variou consoante as condições de maquinagem.

A Figura 34 apresenta o aspeto final das amostras consoante o tipo de lubrificação em vários latões. É possível observar que as amostras maquinadas com LA (Figura 34, a) ficam bastante sujas devido á acumulação do óleo lubrificante nas pistas maquinadas.

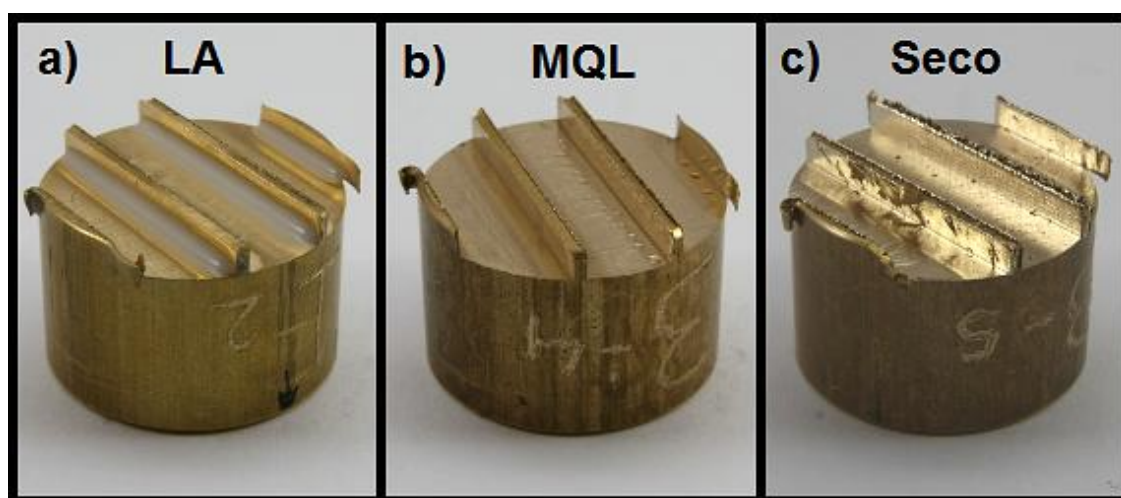


Figura 34: Aspeto final das amostras consoante o tipo de lubrificação em vários latões: a) LA, b) MQL e c) Sem Lubrificação (Seco).

Nas amostras maquinadas com MQL (Figura 34, b), é visível a diferença do estado de limpeza para com a LA (Figura 34,a), pois o aerossol libertado pelo equipamento de MQL contém uma quantidade mínima de lubrificante. As amostras testadas sem lubrificação não são contaminadas com qualquer tipo de lubrificante, mas ao contrário das outras amostras estas apresentam algumas aparas tanto nas pistas maquinadas como nas paredes da peça (Figura 34, c).

Após a limpeza dos latões, verifica-se a existência de rebarbas verticais no topo das paredes de todas as amostras maquinadas.

A Figura 35 mostra as rebarbas presentes nas amostras 1 e 2 (LA) do latão 1 (CuZn39Pb3), correspondentes aos avanços de 0,03, 0,06, 0,12 e 0,24 mm/rot, onde estão presentes as três velocidades de corte ensaiadas.

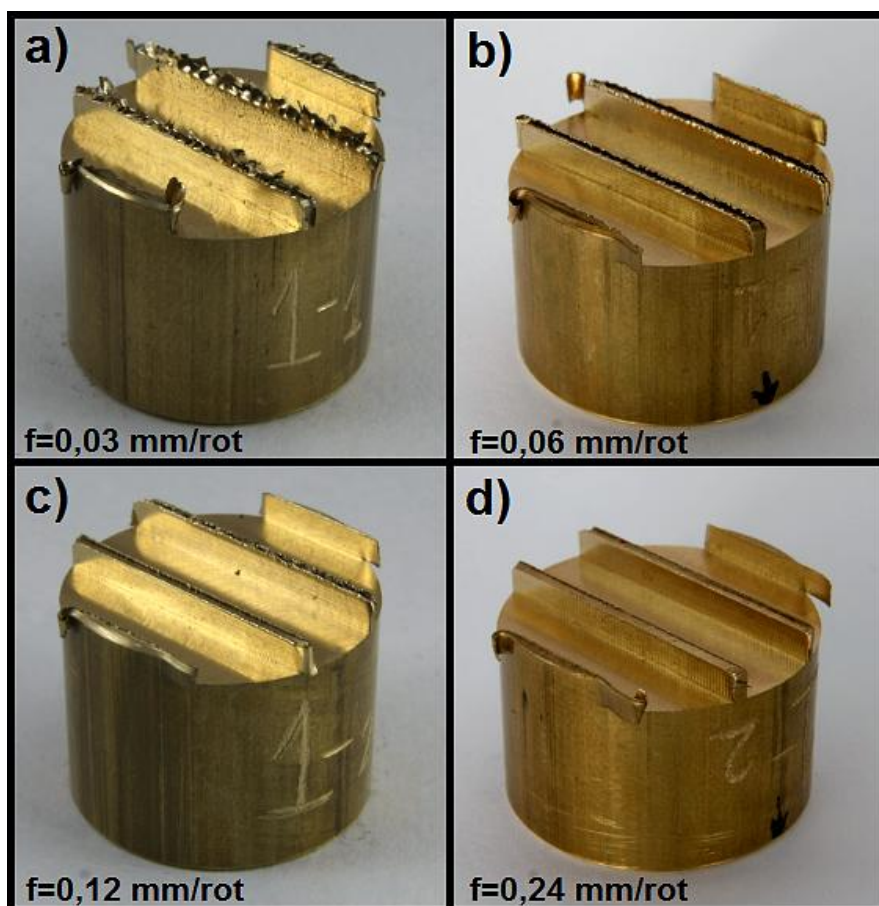


Figura 35: Aspeto das rebarbas verticais nas amostras 1 e 2 (LA) do latão 1 (CuZn39Pb3) correspondentes a lubrificação abundante: a) $f=0,03$ mm/rot, b) $f=0,06$ mm/rot, c) $f=0,12$ mm/rot e d) $f=0,24$ mm/rot.

Dentro de cada tipo de latão (com chumbo ou ecológico), as rebarbas verticais eram semelhantes entre si, variando apenas no seu tamanho, que se revelou maior para o avanço mais lento, diminuindo progressivamente com o aumento do mesmo. Este resultado verificou-se constante nos cinco latões, como se pode ver na Figura 36 que o demonstra para o latão 1 (CuZn39Pb3), indicando que a formação de rebarbas tende a diminuir com o aumento da velocidade de avanço.

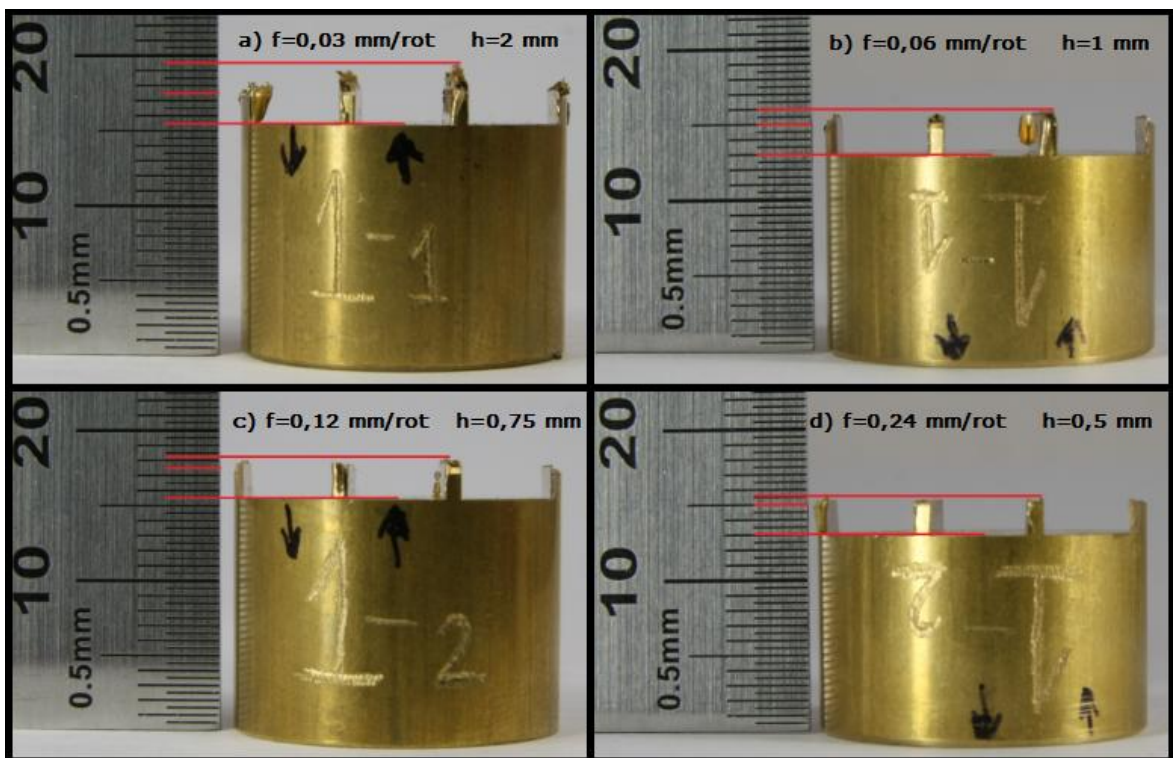


Figura 36: Altura das rebarbas verticais para as amostras 1(LA) e 2 (LA) do latão 1 (CuZn39Pb3), consoante o avanço: a) $f=0,03$ mm/rot, b) $f=0,06$ mm/rot, c) $f=0,12$ mm/rot e d) $f=0,24$ mm/rot.

Verificou-se a presença de rebarbas horizontais, isto é, rebarbas nas zonas de entrada e saída da ferramenta, em todas as amostras maquinadas, como se pode observar na Figura 37.

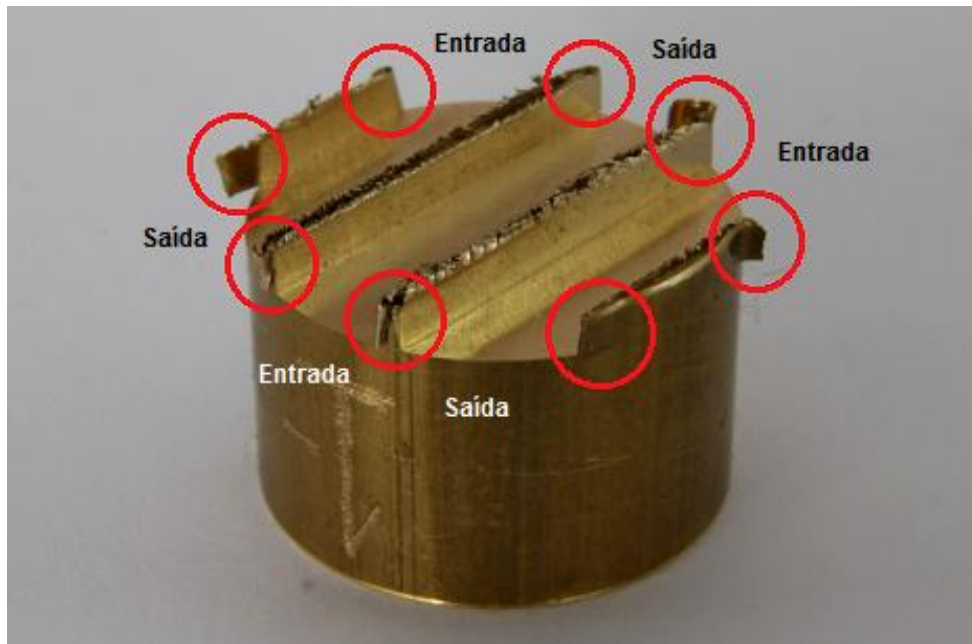


Figura 37: Rebarbas horizontais presentes em todas as amostras.

As aparas formadas aquando da maquinagem com MQL e a Seco, foram recolhidas e analisadas quanto á sua forma. No caso da LA não foi possível recolher as aparas uma vez que o líquido lubrificante ao embater na peça e na bucha de suporte arrastou-as automaticamente com ele impossibilitando a sua recolha.

A forma das aparas pode ser afetada por vários processos tais como a velocidade de corte, velocidade de avanço, tipo de lubrificação, material ensaiado e profundidade de corte.

Uma vez que as aparas resultantes de todos os ensaios de fresagem apresentaram a mesma forma em lasca com um tamanho bastante idêntico, pode concluir-se que nenhum dos parâmetros de corte indicados anteriormente teve uma grande influência na formação das mesmas.

Na Figura 38 é visível a comparação entre as aparas geradas na fresagem com MQL com o avanço de 0,03 mm/rot entre as três velocidades de corte. Na maquinagem a Seco verificaram-se os mesmos resultados que os da Figura 38.

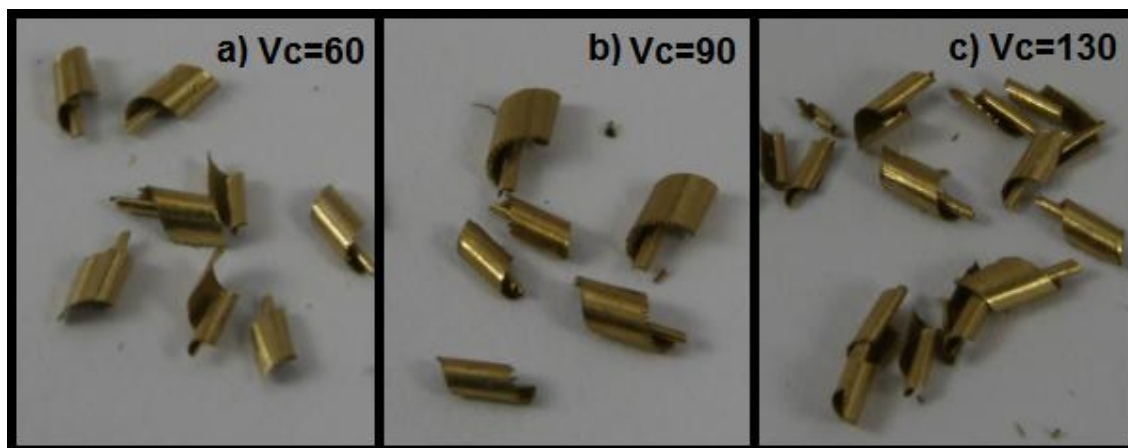


Figura 38: Aparas geradas na fresagem com MQL com o avanço de 0,03 mm/rot para as velocidades de corte de: a) $V_c=60$ m/min, b) $V_c=90$ m/min e c) $V_c=130$ m/min.

As aparas resultantes da fresagem dos cinco latões, CuZn39Pb3, CuZn40Pb2, ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1 e ECOASB20-AA.2, com $f=0,03$ mm/rot e $V_c=60$ m/min e com MQL estão representados na Figura 39 e novamente não se verificam alterações na forma das aparas, assim como para a maquinagem a seco.

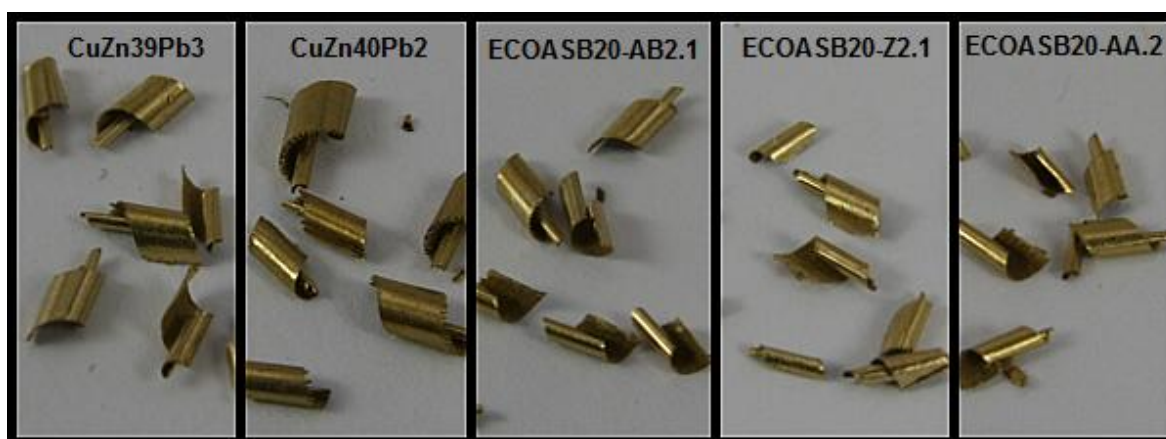


Figura 39: Aparas geradas com MQL para $V_c=60$ m/min e $f=0,03$ mm/rot para os cinco latões: CuZn39Pb3, CuZn40Pb2, ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1 e ECOASB20-AA.2.

A Figura 40 mostra as aparas geradas na fresagem do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) com $f=0,03$ mm/rot e $V_c=60$ m/min para a MQL e para a maquinagem a seco. Não há diferenças entre as aparas, tendo-se verificado o mesmo para os restantes latões.

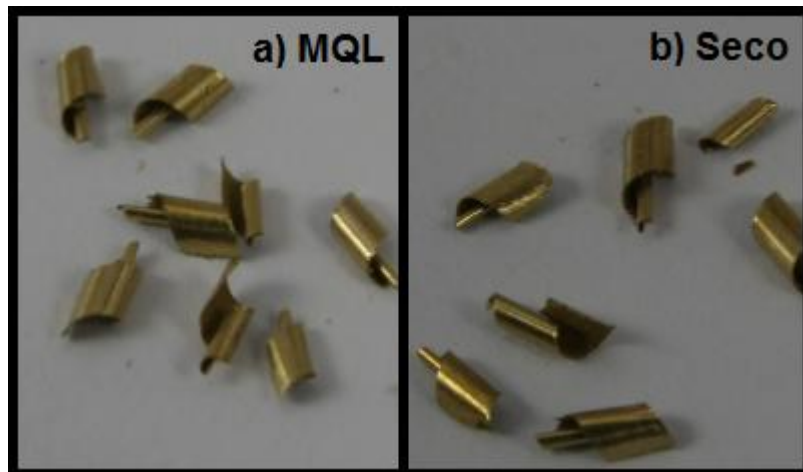


Figura 40: Aparas geradas na fresagem do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) com $V_c=60$ m/min e $f=0,03$ mm/rot para: a) MQL e b) Seco.

4.1.3. Análise Microscópica

Através da análise microscópica, foi possível efetuar um estudo mais cuidado e detalhado do acabamento das superfícies maquinadas, pela análise das entradas e saídas das amostras e também pelas estrias de corte deixadas na superfície maquinada.

Durante a análise das amostras foi usada uma ampliação de 50x.

Na Figura 41 podemos observar o estado das entradas (e1, e2, e3, e4, e5) e saídas (s1, s2, s3, s4, s5) dos cinco latões ensaiados, para uma velocidade de corte de 90 m/min e um avanço de 0,03 mm/rot, das amostras testadas com MQL.

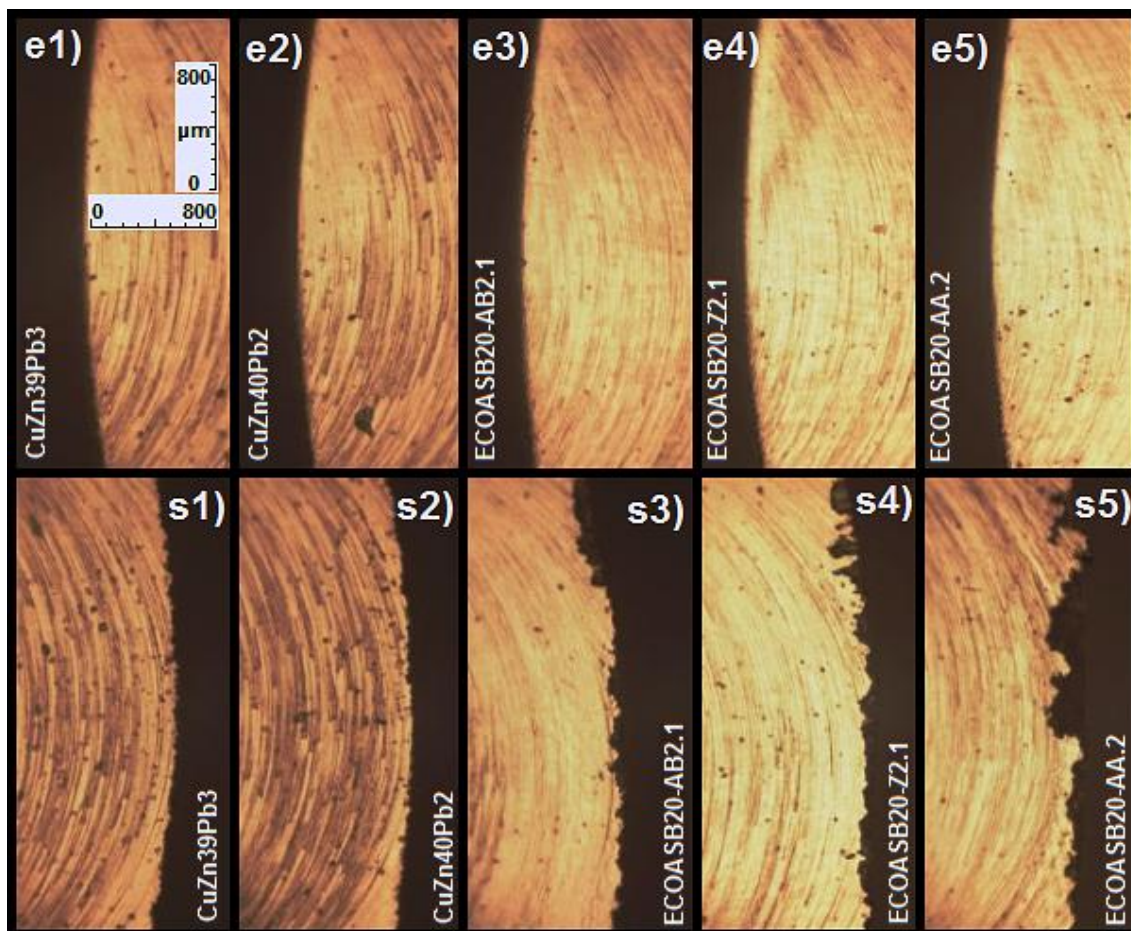


Figura 41: Entradas (e1, e2, e3, e4, e5) e saídas (s1, s2, s3, s4, s5) da amostra 3 (MQL) de todos os latões maquinados com $f=0,03$ mm/rot e $V_c=90$ m/min.

Como se pode verificar, as entradas (e1, e2, e3, e4 e e5) não apresentam danos, facto que se repetiu para as entradas de todas as amostras testadas. Por sua vez, todas as saídas apresentaram danos, e como se pode observar na Figura anterior, estes acentuam-se do latão 1 (CuZn39Pb3) para o latão 5 (ECOASB20-AA.2), apesar dos parâmetros de corte e de lubrificação usados entre elas serem iguais ($f=0,03$ mm/rot, $V_c=90$ m/min e MQL).

A intensidade dos danos das saídas s1 (CuZn39Pb3) e s2 (CuZn40Pb2) é muito parecida assim como das saídas s3 e s4, podendo haver uma relação com as durezas dos materiais. Como já foi referido, os latões 1 e 2 (com chumbo) têm uma dureza de 120 HB, os latões 3 e 4 (ecológicos) têm uma dureza superior, 130 HB, e por fim o latão 5 (ecológico) tem a dureza mais elevada, 150 HB.

O efeito da condição de maquinagem usada foi bastante perceptível, pois entre LA, MQL e a maquinagem a seco, os danos causados pela saída da ferramenta acentuaram-se pela ordem indicada. A Figura 42 mostra os danos causados nas saídas das amostras do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), maquinadas com o mesmo avanço ($f=0,06$ mm/rot) e a mesma velocidade de corte ($V_c=90$ m/min) mas em condições de maquinagem diferentes.

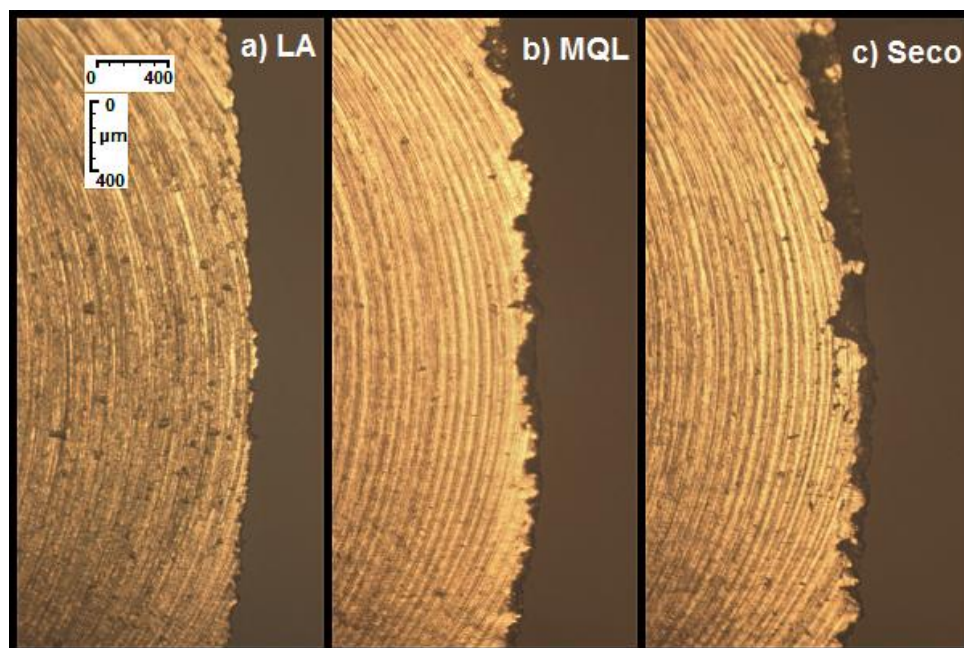


Figura 42: Saídas das amostras do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), maquinadas com $f=0,06$ mm/rot e $V_c=90$ m/min, em função do tipo de lubrificação usado: a) LA, b) MQL, c) Seco.

A velocidade de corte influenciou os danos causados nas saídas das amostras pois para $V_c=60$ m/min os danos causados são mínimos quando comparados com os danos causados com as velocidades de corte de 90 ou 130 m/min.

O aumento da velocidade de avanço também aumenta a quantidade de danos causada nas saídas das amostras, como se pode ver na Figura 43.

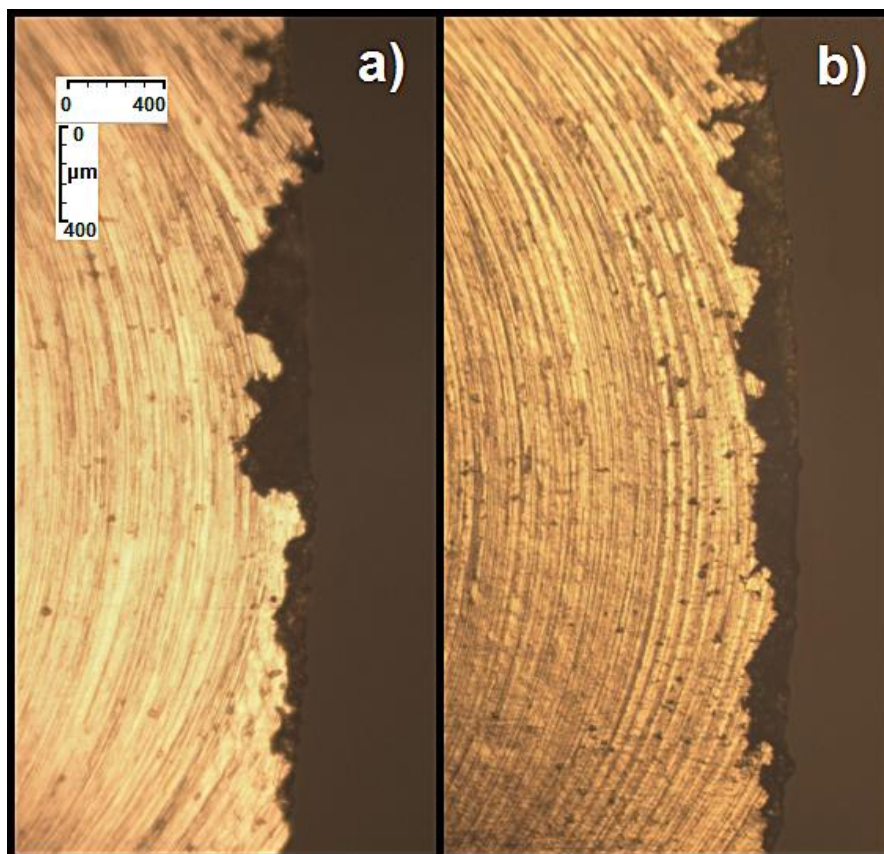


Figura 43: Saídas das amostras do latão 5 (ECOASB20-AA.2), maquinadas com MQL e $V_c=90$ m/min em função dos avanços: a) $f=0,03$ mm/rot, b) $f=0,06$ mm/rot.

Apesar dos danos causados na Figura 43,a) (avanço de 0,03 mm/rot) parecerem mais profundos, a área total dos danos caudados na Figura 43,b) (avanço de 0,06 mm/rot) é muito superior á anterior.

As estrias de corte deixadas pela ferramenta nos latões também foram estudadas e verificaram-se algumas diferenças. Nos latões com chumbo (1 e 2) não se verificaram grandes diferenças nas estrias deixadas nas amostras relativamente ao tipo de lubrificação usado. A Figura 44 mostra as estrias das amostras do latão 1(CuZn39Pb3), maquinadas com $f=0,12$ mm/rot e $V_c=60$ m/min sob diferentes condições de maquinagem: a) LA, b) MQL e c) seco.

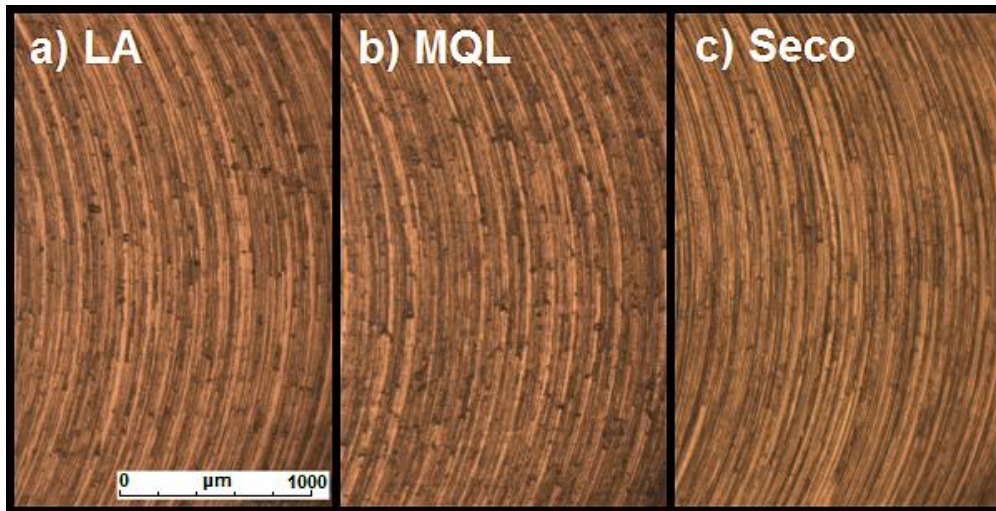


Figura 44: Estrias de corte das amostras do latão 1 (CuZn39Pb3), maquinadas com $f=0,12$ mm/rot e $V_c=60$ m/min sob as condições de: a) LA, b) MQL, c) Seco.

Já nos latões ecológicos (3, 4 e 5) o tipo de lubrificação usado influenciou o aspeto das estrias deixadas nas pistas como se pode ver na Figura 45, para o caso do latão 5. Os restantes latões apresentaram variações semelhantes no aspeto das estrias.

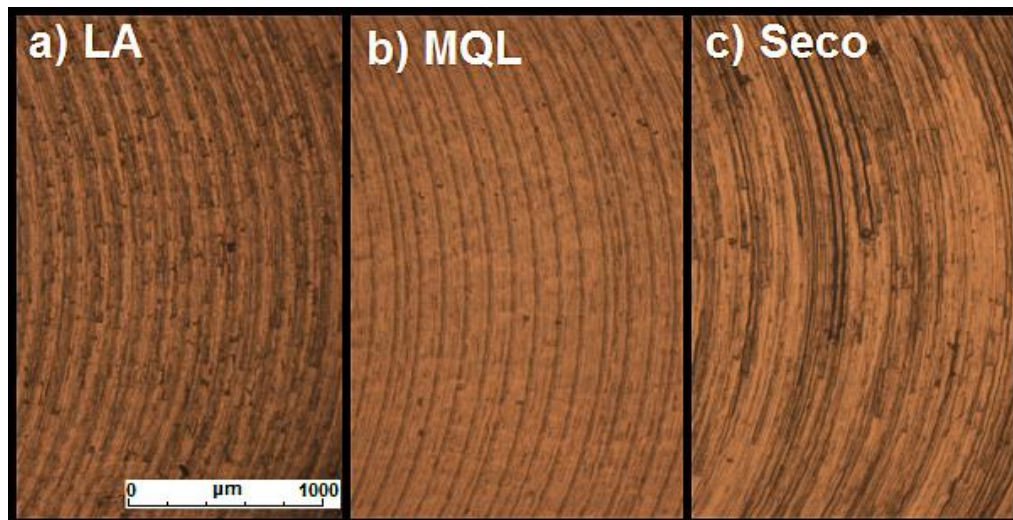


Figura 45: Estrias de corte das amostras do latão 5 (ECOASB20-AA.2), maquinadas com $f=0,12$ mm/rot e $V_c=60$ m/min sob as condições de: a) LA, b) MQL, c) Seco.

4.1.4. Síntese

Notou-se o efeito do chumbo entre os latões 1 (CuZn39Pb3) e 2 (CuZn40Pb2), dado que se obtiveram valores de Ra mais baixos na maquinagem do primeiro latão.

Com LA, os latões ecológicos 3 (ECOASB20-AB2.1), 4 (ECOASB20-Z2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2) apresentaram valores de Ra mais baixos em comparação com o latão 2 (CuZn40Pb2), e valores muito idênticos aos do latão 1 (CuZn39Pb3).

A maquinagem de latões ecológicos com a técnica de MQL originou valores de Ra mais baixos do que na maquinagem dos latões com chumbo com a mesma técnica.

Nos latões com chumbo (CuZn39Pb3 e CuZn40Pb2) a MQL apresentou valores de Ra idênticos aos obtidos na LA.

A MQL mostrou ser a melhor técnica de lubrificação para as operações de fresagem dos latões ecológicos, pois além das vantagens económicas e ambientais que esta técnica apresenta, permitiu ainda obter valores de rugosidade inferiores à LA em quase todas as amostras maquinadas entre os avanços de 0,03 e 0,12 mm/rot.

De uma forma geral, o aumento da velocidade de corte também revelou trazer melhorias no acabamento das amostras maquinadas, sendo estas melhorias mais evidentes no caso dos latões ecológicos.

A maquinagem a seco mostrou ser a pior opção em quase todas as amostras maquinadas, pois os valores de rugosidade obtidos foram sempre muito superiores aos das duas técnicas de lubrificação. Assim, esta não é uma opção viável, porque, como refere Bhowmick, et al., (2010), a maquinagem a Seco reduz significativamente o tempo de vida das ferramentas e as temperaturas de corte geradas são muito elevadas, podendo afetar a qualidade do material maquinado. Além disto, a potência de maquinagem necessária para o processo também é superior neste caso.

A fresagem com MQL, quando usada dentro da gama certa de velocidade de avanço e de corte pode aumentar a produtividade, uma vez que além de melhorar o acabamento das peças por reduzir a rugosidade das mesmas, também garante que a zona maquinada fique mais limpa. A velocidade elevada a que o aerossol embate na zona de maquinagem projeta as aparas para longe da ferramenta evitando assim que estas danifiquem a zona maquinada.

A lubrificação com MQL deixou as amostras mais limpas em comparação com a LA e a maquinagem a seco.

Tanto os latões com presença de chumbo como os latões com bismuto apresentaram rebarbas verticais, sendo que a altura das mesmas tendeu a diminuir com o aumento da velocidade de avanço.

Os latões com chumbo não apresentaram danos nas entradas e saídas das pistas maquinadas, ao contrário dos latões com bismuto que apresentaram danos nas saídas de algumas amostras. Para os latões ecológicos, os danos acentuaram-se com a velocidade de corte. Estes danos revelaram-se mais significativos para o latão 5 (ECOASB20-AA.2 - 150HB).

4.2. Influência da Substituição do Chumbo e da MQL na Furação de Latões

A influência da substituição do chumbo e da MQL na furação de latões será avaliada, numa primeira fase, tendo em conta a análise dos parâmetros de rugosidade das superfícies obtidas, seguida da análise da presença de rebarbas e aparas e por fim uma análise microscópica.

4.2.1. Análise dos Parâmetros de Rugosidade

As Figuras 46 e 47 apresentam os perfis de rugosidade dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 4 (ECOASB20-Z2.1), respetivamente, furados sob as mesmas condições, neste caso uma velocidade de corte de 80 m/min e um avanço de 0.20 mm/rot.

Os perfis da Figura 46 dizem respeito ao latão 1 (CuZn39Pb3), para as condições de maquinagem a Seco (Figura 46, a), MQL (Figura 46, b) e LA (Figura 46, c). Os perfis da Figura 47 dizem respeito ao latão 4 (ECOASB20-Z2.1), e apresentam-se dispostos pela mesma ordem dos perfis da figura anterior.

Pelos perfis de ambas as figuras, verifica-se que existe uma semelhança entre os perfis de rugosidade na maquinagem com lubrificação (LA e MQL). Deve ter-se em atenção que o perfil referente à lubrificação a seco de ambas as figuras esta numa escala 2,5 vezes superior aos perfis resultantes das maquinagens com lubrificação, o que nos leva a concluir que o perfil resultante da maquinagem a seco é bastante diferente dos restantes.

No caso da Figura 46 o perfil da LA também se encontra numa escala 5 micrómetros mas as semelhanças com o perfil da MQL são bem visíveis.

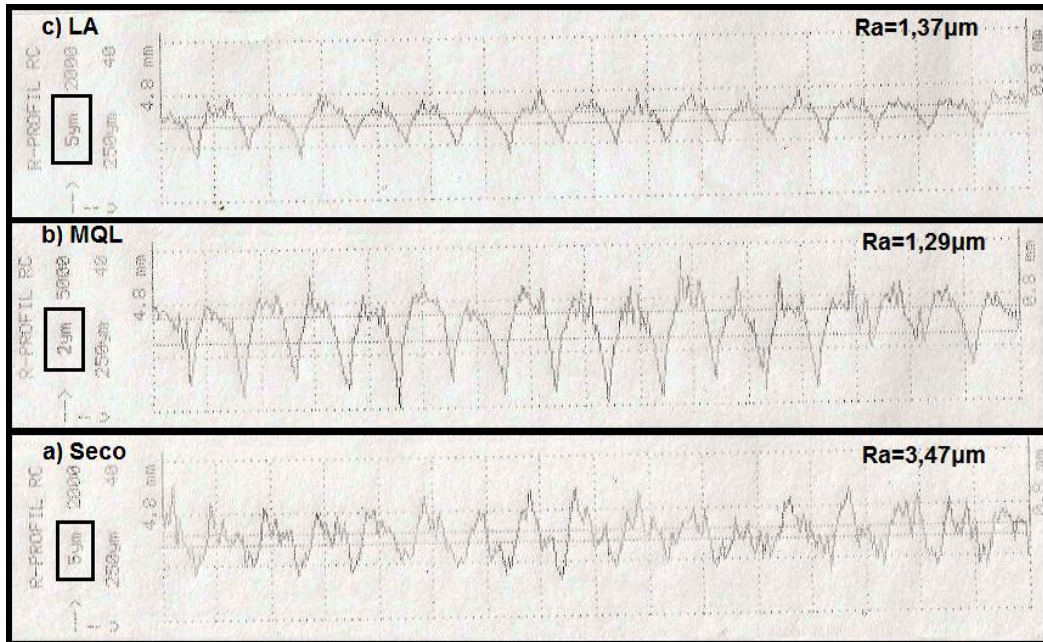


Figura 46: Perfis de rugosidade do latão 1 (CuZn39Pb3), para $V_c=80$ m/min, $f=0,20$ mm/rot nos ambientes: a) Seco, b) MQL e c) LA.

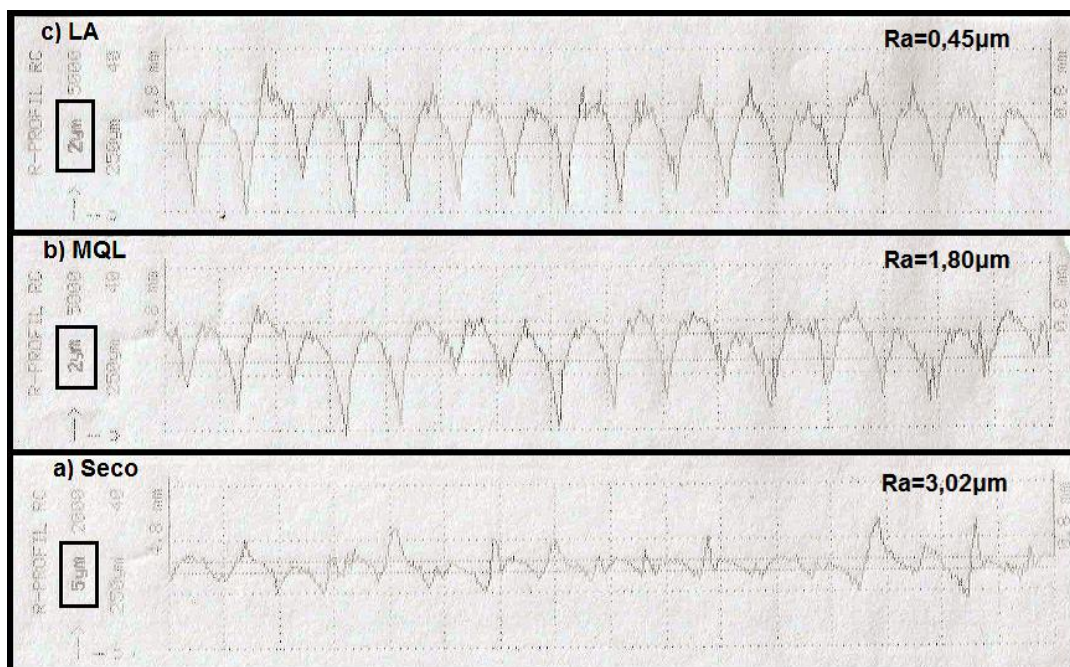


Figura 47: Perfis de rugosidade do latão 4 (ECOASB20-Z2.1), para $V_c=80$ m/min, $f=0,20$ mm/rot nos ambientes: a) Seco, b) MQL e c) LA.

Os valores de Ra apresentados nas figuras seguintes dizem respeito aos tipos de lubrificação utilizados sob as mesmas condições de maquinagem e serão apresentados em conjunto de forma a poderem comparar-se entre si.

A Figura 48 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 1 (CuZn39Pb3) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, em condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

Verifica-se que a LA apresenta valores ligeiramente mais baixos que a MQL. Existe um aumento substancial dos valores de Ra com o aumento da velocidade de avanço para todas as velocidades de corte. Com o aumento da velocidade de corte verificou-se um ligeiro decréscimo dos valores de Ra para quase todos os avanços no caso da MQL, ao contrário da LA e da lubrificação a Seco onde estes valores aumentaram.

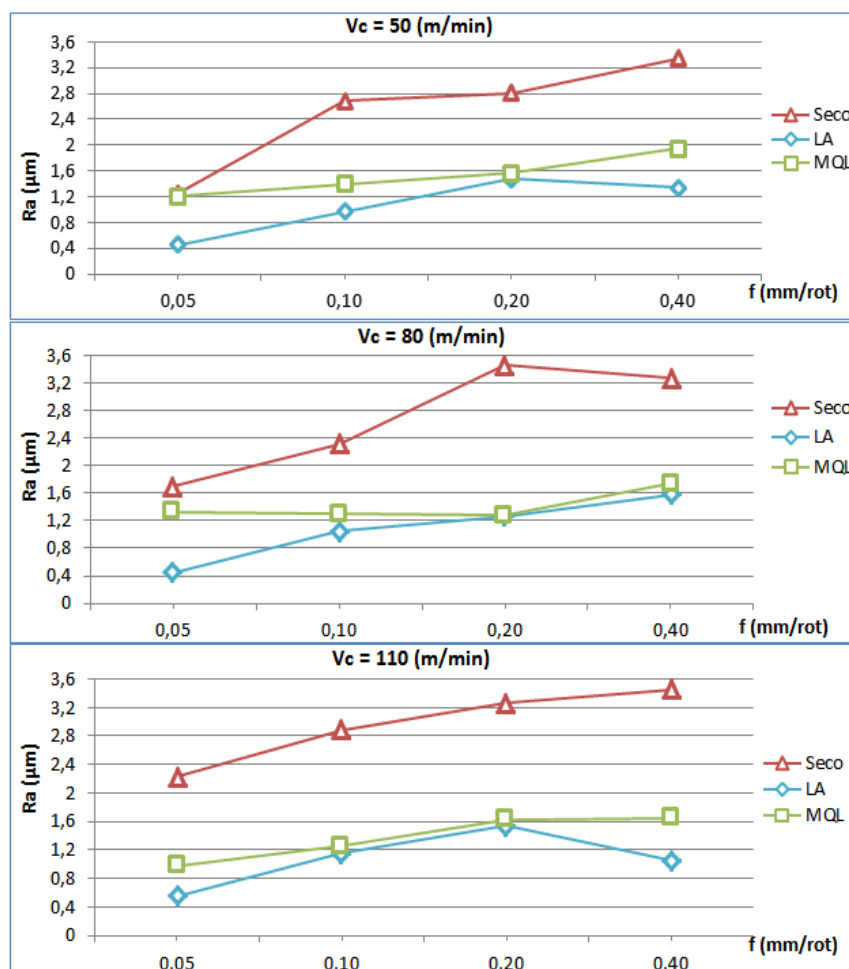


Figura 48: Valores de Ra do latão 1 (CuZn39Pb3) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.

A maquinação a Seco apresentou valores de Ra muito superiores às maquinações com LA e MQL, sendo que a LA obteve valores geralmente melhores que a MQL.

Na Figura 49 é visível a evolução dos valores de Ra do latão 2 (CuZn40Pb2) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, em condições de maquinação a seco, LA e MQL.

Neste latão a furação com LA revelou-se mais vantajosa em relação à MQL pois em todas as velocidades de corte e de avanço obteve valores de Ra inferiores. A furação a Seco voltou a destacar-se pela negativa ao alcançar alguns valores de Ra cerca de oito vezes superiores aos da LA.

Os valores de Ra variaram muito pouco para a LA e para a MQL entre os vários avanços, quando comparados com a maquinação a seco, mostrando algumas melhorias com o aumento da velocidade de corte.

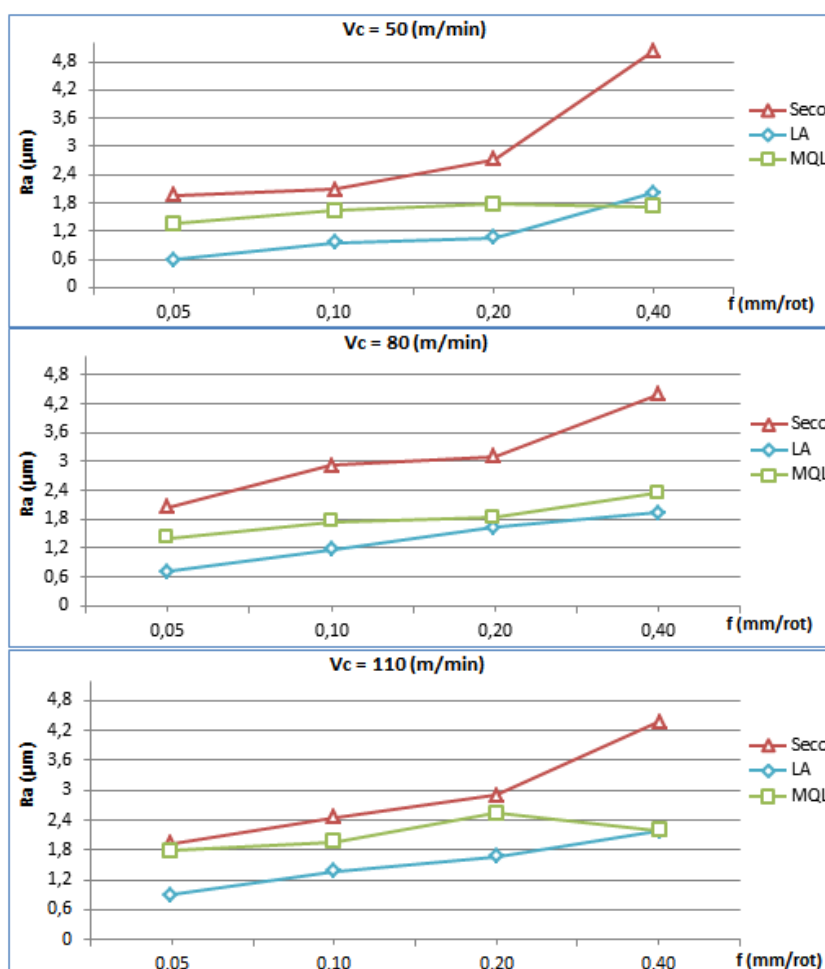


Figura 49: Valores de Ra do latão 2 (CuZn40Pb2) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.

As três figuras seguintes apresentam os valores de Ra obtidos para os latões ecológicos (3 - ECOASB20-AB2.1, 4 - ECOASB20-Z2.1 e 5 - ECOASB20-AA.2). No caso destes latões, e ao contrário do que se verificou para a fresagem, a MQL não obteve valores de Ra inferiores aos da LA, apesar destes terem sido sempre substancialmente melhores do que os da maquinagem a Seco.

A Figura 50 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, nas condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

Verifica-se que os valores de Ra para a LA e MQL pouco variaram entre as quatro velocidades de avanço quando comparados com a evolução crescente dos valores relativos à maquinagem a Seco, que se acentuou a partir do avanço de 0,10 mm/rot. Os valores de Ra obtidos com MQL, apesar de superiores aos obtidos com LA, mantiveram uma evolução semelhante aos desta.

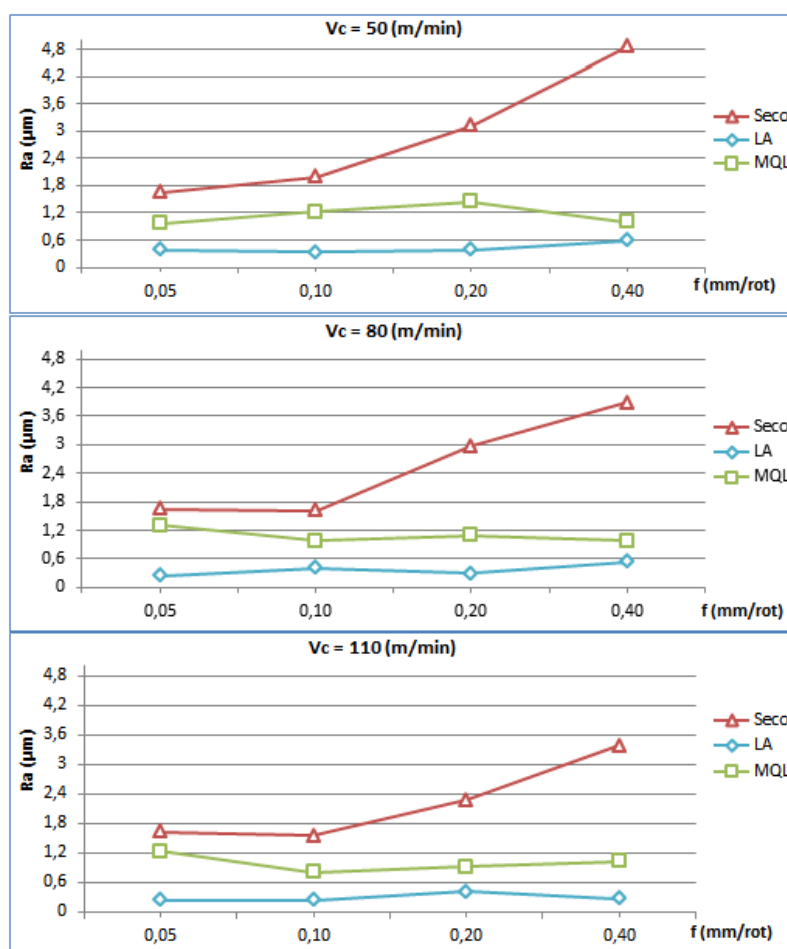


Figura 50: Valores de Ra do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.

A Figura 51 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, nas condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

Os valores de Ra da LA voltaram a não mostrar uma grande variação ao longo dos quatro avanços usados e neste caso também não para as três velocidades de corte. No caso da MQL, os valores de Ra mostraram-se crescentes com o aumento do avanço para valores entre 0,05 e 0,20 mm/rot.

No geral, os valores da furação com MQL diminuíram com o aumento da velocidade de corte.

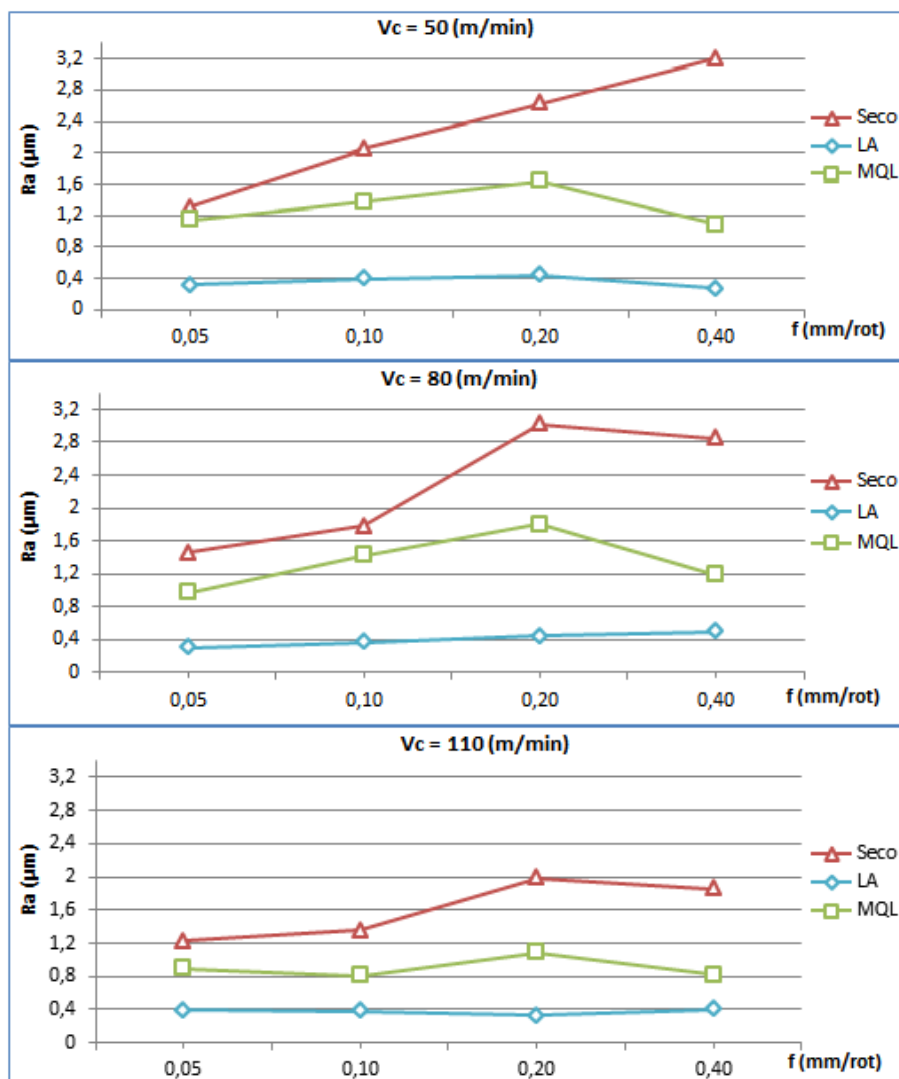


Figura 51: Valores de Ra do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.

A Figura 52 mostra a evolução dos valores de Ra do latão 5 (ECOASB20-AA.2) em função da velocidade de avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, nas condições de maquinagem a seco, LA e MQL.

A furação deste latão apresentou valores de Ra para a LA e MQL que quase não variaram com o aumento da velocidade de corte nem com a velocidade de avanço.

A lubrificação a Seco voltou a ser a técnica menos vantajosa ao apresentar valores de Ra altíssimos, que aumentaram com o aumento do avanço mas que diminuíram ao aumentar a velocidade de corte.

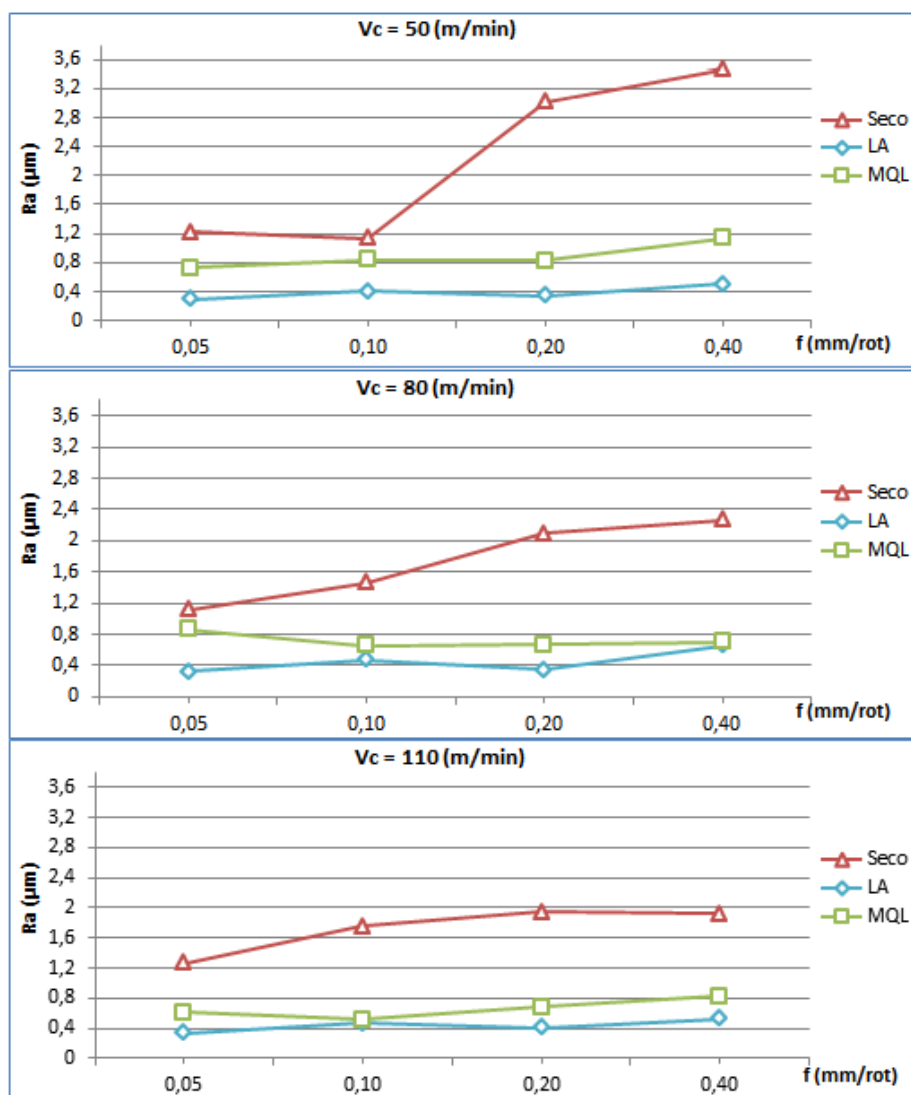


Figura 52: Valores de Ra do latão 5 (ECOASB20AA.2) em função do avanço: a) Vc=50 m/min, b) Vc=80 m/min e c) Vc=110 m/min.

A figura 53 apresenta os valores de Ra dos cinco latões, em função do avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, na condição de LA. Por um lado é visível que o chumbo tem influência na furação dos latões uma vez que o latão 1 (CuZn39Pb3 – entre 2,5 e 3,5% de Pb) obteve melhores valores de Ra do que o latão 2 (CuZn40Pb2 – entre 1,6 e 2,5% de Pb), mas por outro lado os latões ecológicos obtiveram, em todos os parâmetros de corte, valores de Ra mais baixos do que qualquer latão com chumbo. O aumento da velocidade de avanço mostrou afetar os latões com chumbo de forma negativa ao contrario dos latões ecológicos, cujos valores de Ra quase não variaram.

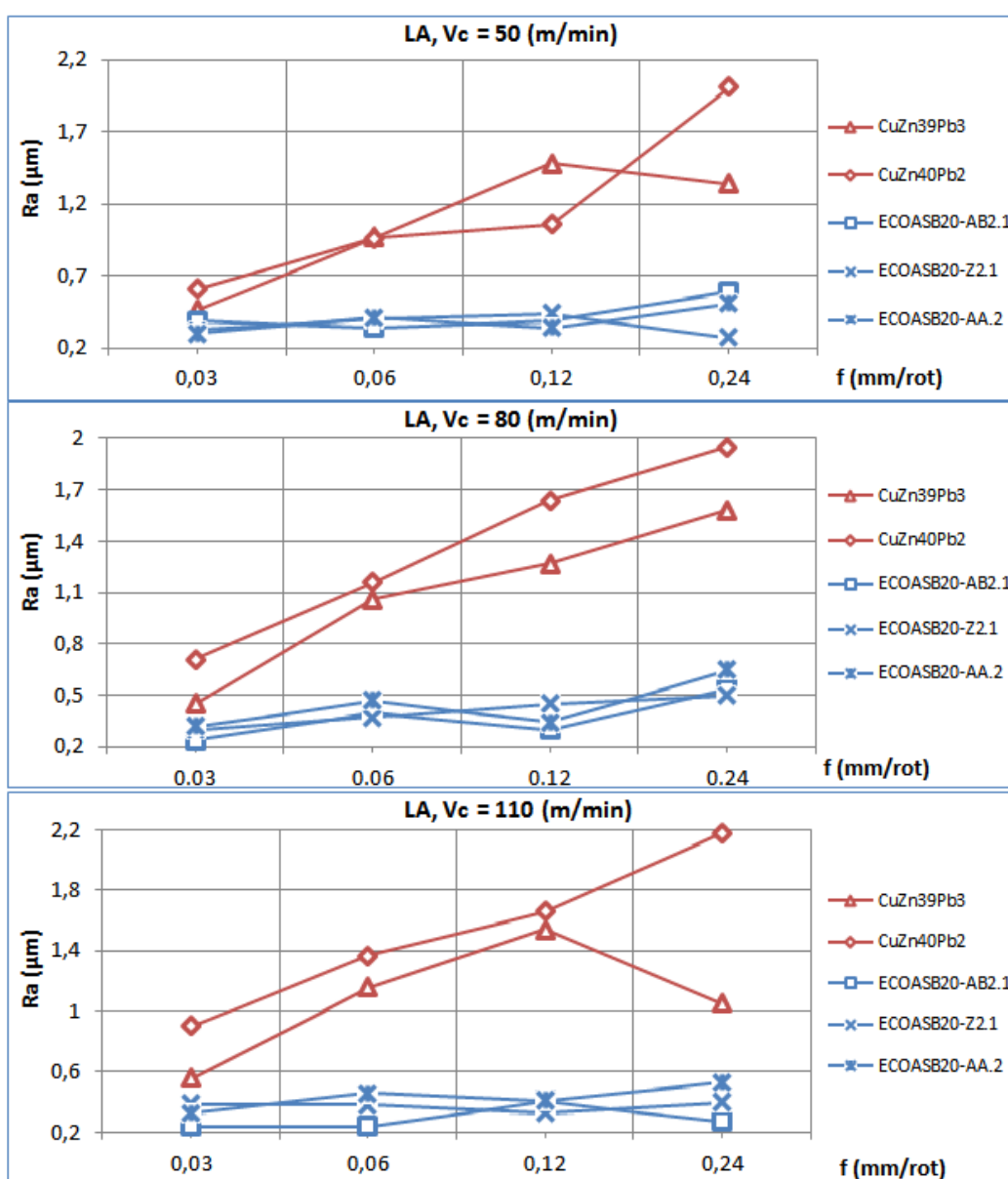


Figura 53: Valores de Ra dos Cinco latões em função do avanço para a LA: Vc=50 m/min, Vc=80 m/min e Vc=110 m/min.

A figura 54 apresenta os valores de Ra dos cinco latões, em função do avanço para as velocidades de corte de 50, 80 e 110 m/min, na condição de MQL. A influência do chumbo mostrou-se idêntica á dos latões furados com LA, em que a maior quantidade de chumbo beneficia a furação destes latões.

No caso dos latões ecológicos, os latões 3 (ECOASB20-AB2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2) voltaram a obter valores de Ra inferiores aos dos latões com chumbo. O latão 4 (ECOASB20-Z2.1) só se revelou vantajoso para a $V_c=110$ m/min.

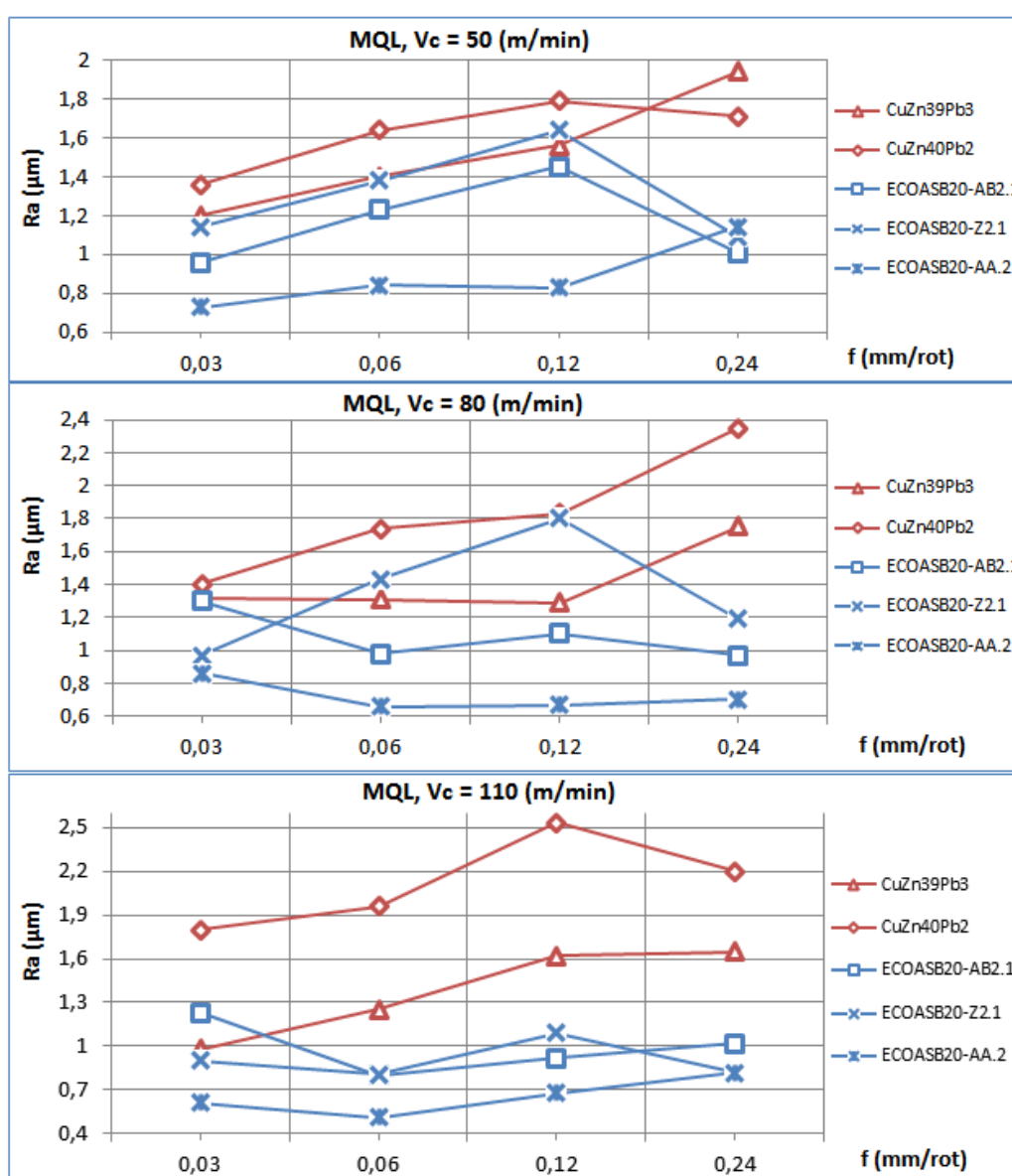


Figura 54: Valores de Ra dos cinco latões em função do avanço para a LA: $V_c=50$ m/min, $V_c=80$ m/min e $V_c=110$ m/min.

4.2.2. Aspeto Visual das Amostras (Análise de Rebarbas e Aparas)

Como já foi referido anteriormente, o estado de limpeza das peças acabadas de maquinar assim como das aparas resultantes da operação de maquinagem é de extrema importância, pois a sua contaminação com óleos lubrificantes dificulta o processo de reciclagem das mesmas.

Assim como na fresagem, o estado de limpeza das amostras variou consoante as condições de maquinagem.

Na Figura 55, estão representados as três condições de maquinagem usadas, a) LA, b) MQL e c) seco. Na LA, como mostra a Figura 55 a), toda a zona de maquinagem é atingida pelo jato de óleo e suas projeções.

Já no caso da MQL, o aerossol é direcionado para a zona que se quer lubrificar, e ao mesmo tempo que arrefece a peça e a ferramenta, afasta as aparas resultantes, mantendo toda a zona de maquinagem mais limpa. Como se vê na Figura 55 b), tanto a peça como a própria bucha de suporte encontram-se praticamente limpas.

A Figura 55 c) mostra a maquinagem a Seco, e como se pode ver as aparas resultantes depositam-se tanto na bucha de suporte como na amostra de latão, podendo mesmo interferir com o processo de maquinagem e assim alterar a qualidade de acabamento do produto final.

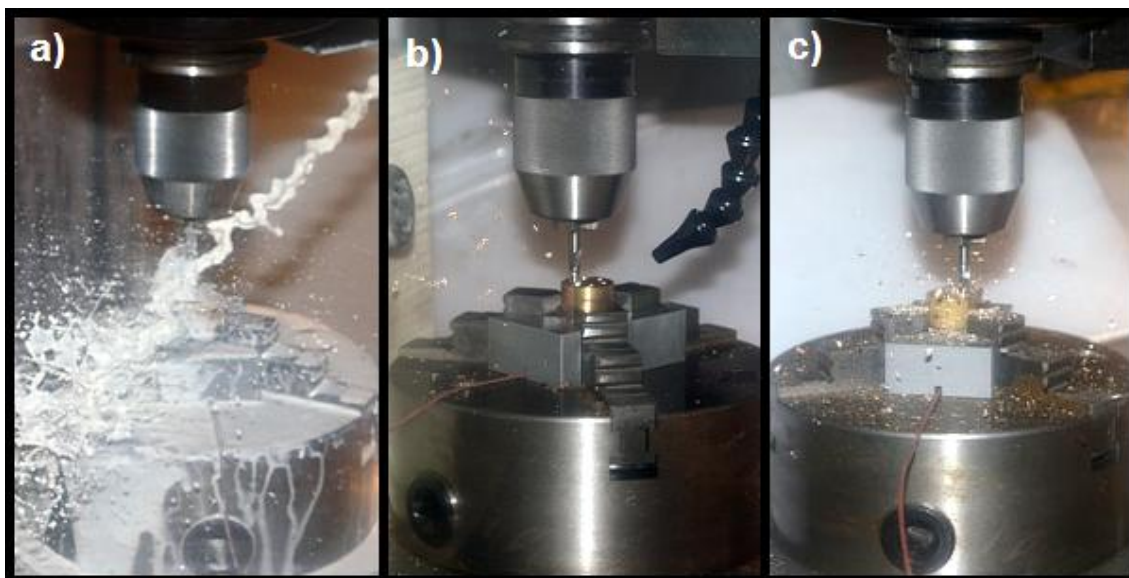


Figura 55: Comparação entre os 3 tipos de lubrificação: a) LA, b) MQL, c) Seco.

A Figura 56 apresenta o estado das amostras após a maquinagem estar concluída, para as condições de LA (Figura 56, a)), MQL (Figura 56, b)) e maquinagem a seco (Figura 56, c)).

Na Figura 56, a) é visível o nível de contaminação de toda a zona de maquinagem na qual foi utilizada a LA. A MQL voltou a destacar-se pela positiva ao deixar a zona de maquinagem livre de aparas, Figura 56, b). As amostras maquinadas a Seco, Figura 56, c) não ficaram contaminadas com qualquer tipo de óleo lubrificante, mas no final da furação encontravam-se cobertas de aparas assim como a restante zona de maquinagem.

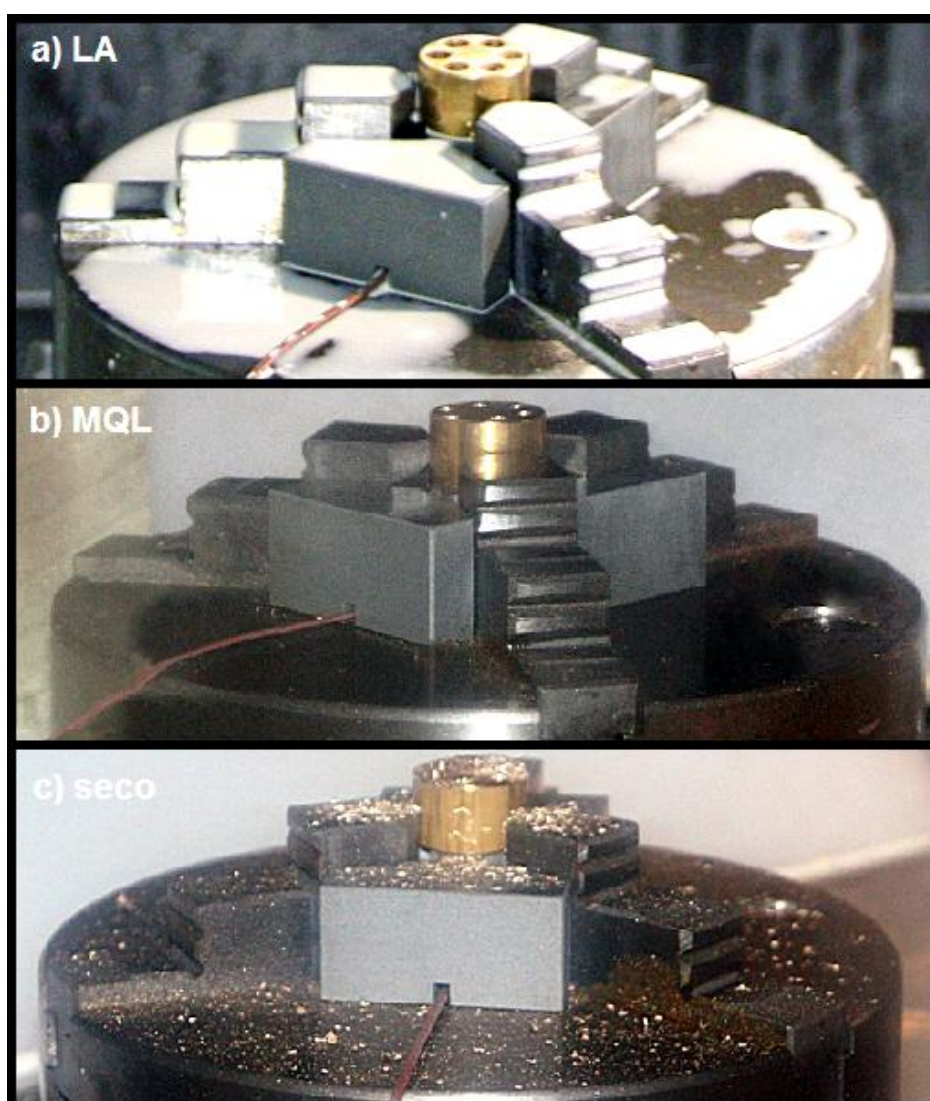


Figura 56: Aspeto da zona de maquinagem após furação nas condições de: a) LA, b) MQL e c) maquinagem a seco.

Em alguns dos ensaios com LA ocorreu adesão da apra à ferramenta de corte (broca), como demonstra a Figura 57.

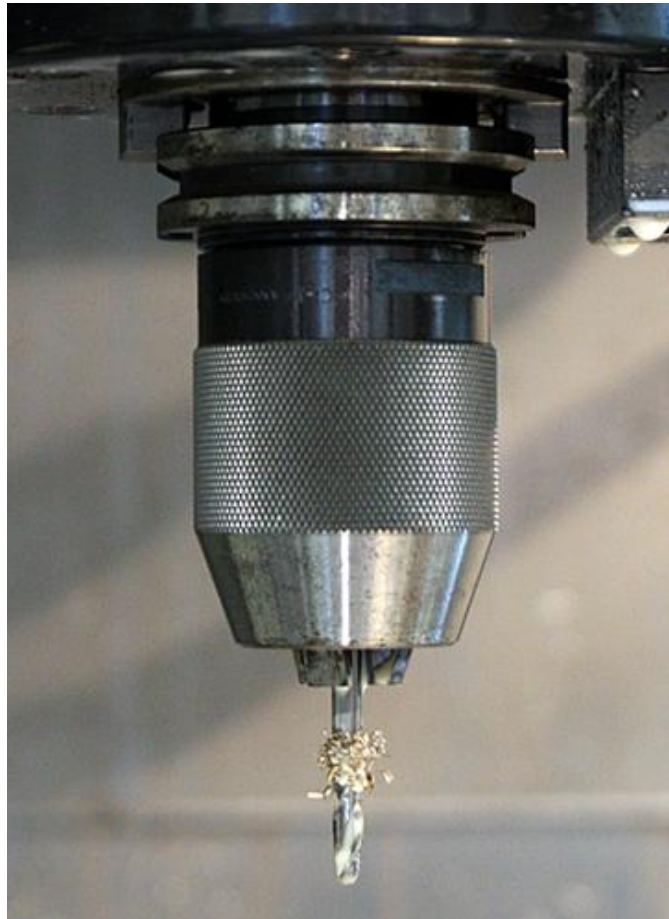


Figura 57: Adesão da apra na broca para LA.

Após a limpeza dos latões furados, verificou-se a inexistência de qualquer rebarba visível a olho nu nas entradas dos furos, existindo apenas rebarbas nos furos de saída de algumas amostras.

Na Figura 58 estão representadas as entradas e saídas dos furos realizados na amostra 3 (MQL) do latão número 3 (ECOASB20-AB2.1), e como se pode ver nas entradas não se formaram quaisquer rebarbas, o que aconteceu também nas entradas dos restantes latões.

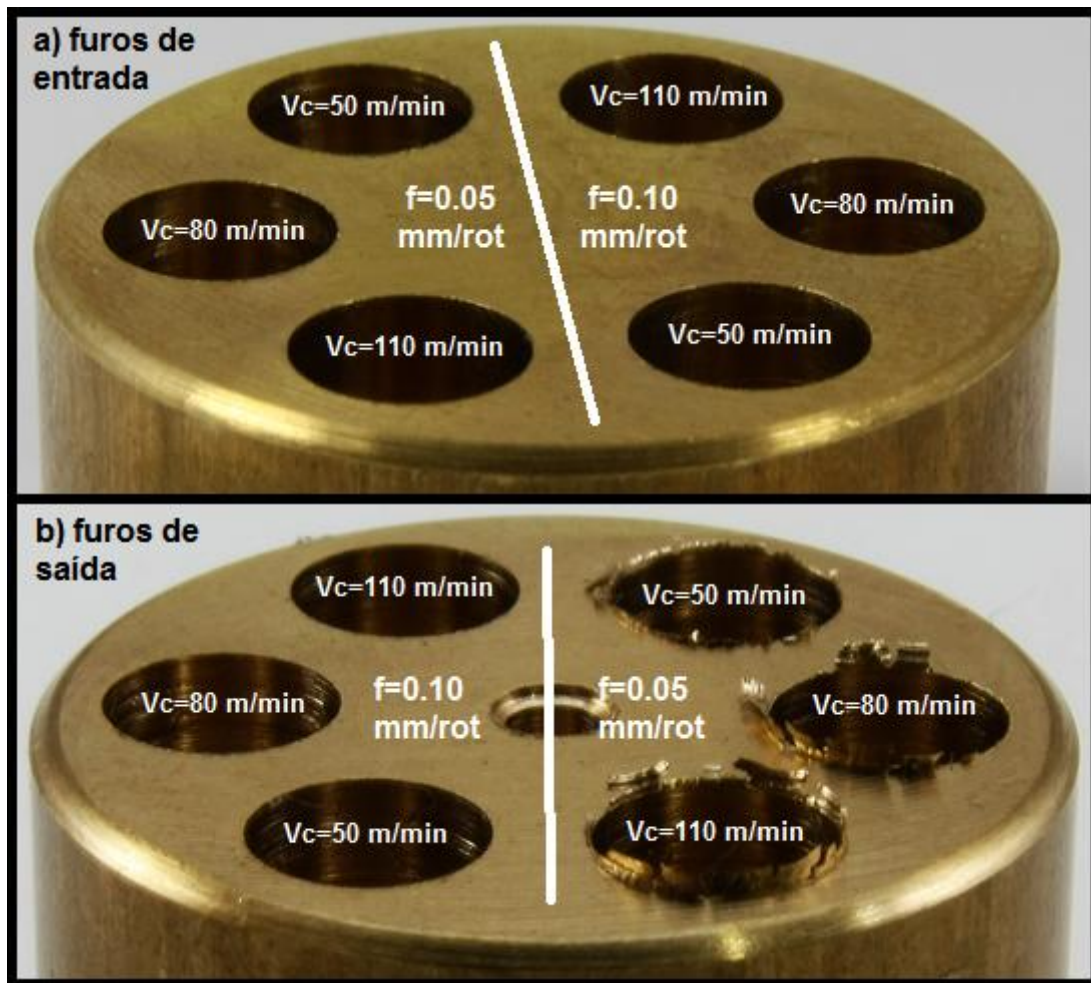


Figura 58: Entradas e saídas dos furos realizados com MQL na amostra 3 (MQL) do latão 3 (ECOASB20-AB2.1).

Os latões com chumbo (CuZn39Pb3 e CuZn40Pb2) não apresentaram rebarbas na saída dos furos, sendo que nos latões ecológicos (ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1 e ECOASB20-AA.2), estas surgiram apenas nas amostras 3 (MQL) e 5 (Seco) dos três latões (Figura 59).

Nas amostras testadas com MQL as rebarbas surgiram nas saídas dos furos para as 3 velocidades de corte do avanço de 0,10 mm/rot, sendo que a sua altura diminuiu com o aumento da velocidade de corte.

Nas amostras maquinadas a seco, as rebarbas formaram-se nas saídas dos furos para as três velocidades de corte do avanço de 0,40 mm/rot, tendo a altura destas aumentado com o aumento da velocidade de corte.

No caso do latão 3 (ECOASB20-AB2.1) testado a Seco, também se verificaram rebarbas para as velocidades de corte de 80 e 110 m/min e avanço de 0,20 m/mi, e no caso do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) testado a seco, verificou-se a existência de rebarbas para a velocidade de corte de 110 m/min e avanço de 0,20 mm/rot.

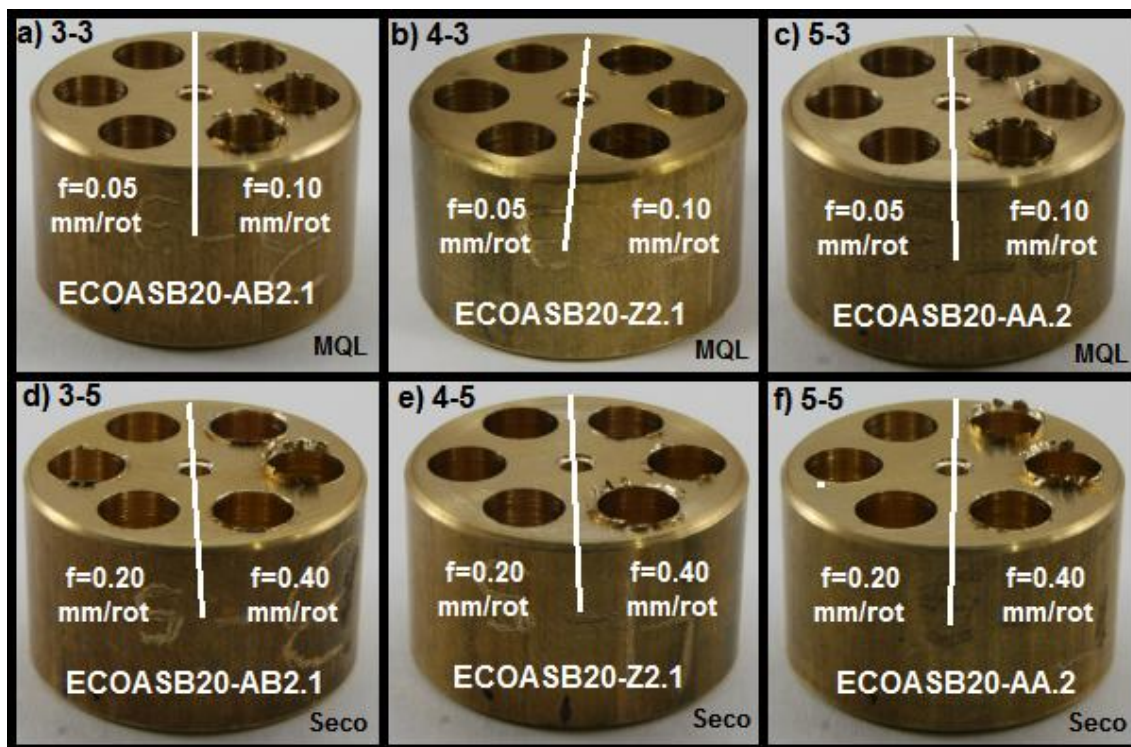


Figura 59: Rebarbas dos furos de saída.

Assim como na fresagem, as aparas formadas no processo de furação com MQL e lubrificação a Seco foram recolhidas e analisadas quanto á sua forma. No caso da LA não foi possível recolher as aparas uma vez que o líquido lubrificante ao embater na peça e na bucha de suporte arrastava-as automaticamente com ele impossibilitando a sua recolha. Ao contrário do que aconteceu na fresagem, na furação formaram-se aparas com tamanhos e formas diferentes.

Na Figura 60 é visível a diferença das aparas formadas na furação do latão 1 (CuZn39Pb3) com MQL (amostras 3 e 4), em função das velocidades de corte e de avanço. No caso deste latão, as aparas geradas no processo de furação são do tipo helicoidal cônica longa para todos os avanços na velocidade de corte de 50 m/min, sendo que nos avanços de 0,10 e 0,20 mm/rot também se formaram aparas longas e curtas do

tipo helicoidal em gume. Há exceção do avanço de 0,40 mm/rot que só gerou aparas helicoidais cónicas para todas as velocidades de corte, os restantes avanços geraram, aparas longas e curtas helicoidais em gume, com algumas a fazer transição para as já referidas helicoidais cónicas.

Para as três velocidades de corte dos avanços de 0,10 e 0,40 mm/rot e para a velocidade mais lenta do avanço de 0,05 mm/rot, verificou-se que as aparas não eram do tipo contínuo regular como as restantes, mas sim do tipo contínuo com avara aderente. Este aspeto é visível na Figura 60, no canto inferior direito de algumas das aparas.

Verificou-se que com o aumento da velocidade de corte as aparas tenderam para o tipo helicoidal em gume, e com o aumento da velocidade de avanço, tenderam para o tipo helicoidal cónico, diminuindo o seu comprimento.

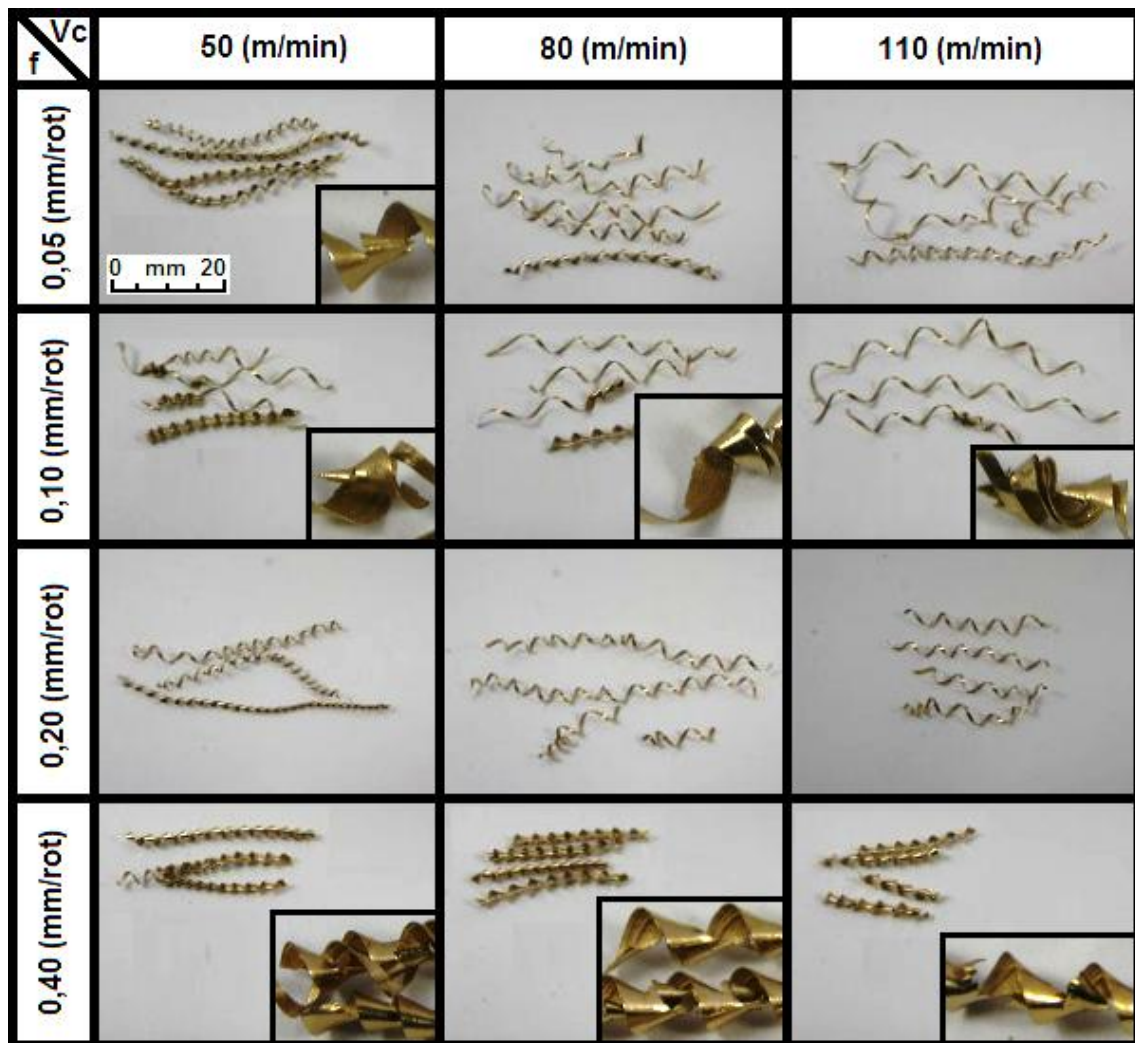


Figura 60: Aparas geradas na furação das amostras 3 e 4 (MQL) do latão 1 (CuZn39Pb3).

Na Figura 61 é visível a diferença das aparas formadas na furação do latão 4 (ECOASB20-Z2.1) com MQL (amostras 3 e 4), em função das velocidades de corte e de avanço. São visíveis além das aparas helicoidais cónicas longas e curtas, aparas em arco fragmentadas que se formaram em todos os furos realizados.

Para o avanço de 0,05 mm/rot, foram visíveis algumas aparas curtas do tipo helicoidal em gume.

Aparas do tipo helicoidal cónico, só não se verificaram nas velocidades de corte de 80 e 110 m/min em $f=0,10$ mm/rot e na velocidade de corte de 110 m/min do avanço de 0,40 mm/rot.

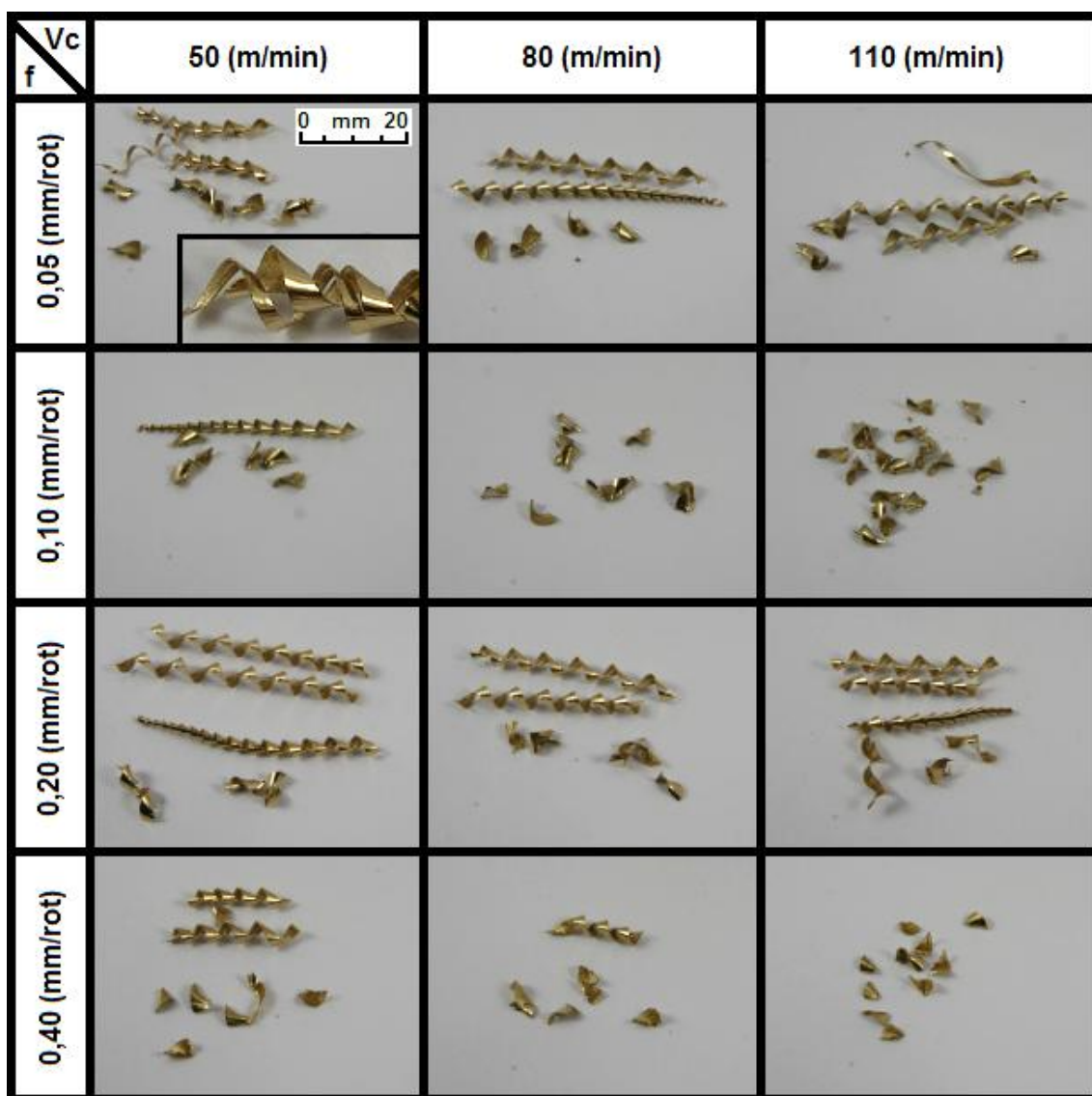


Figura 61: Aparas geradas na furação das amostras 3 e 4 (MQL) do latão 4 (ECOASB20-Z2.1).

O efeito da velocidade de avanço é bem visível na Figura 62, onde são apresentadas as aparas resultantes da furação a Seco (amostras 5 e 6) dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 4 (ECOASB20-AB2.1) para a velocidade de corte de 50 m/min. Verifica-se que para o avanço mais pequeno o tamanho das aparas é maior, diminuindo para o avanço maior.



Figura 62: Aparas geradas na furação a Seco dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 4 (ECOASB20-Z2.1), para a velocidade de corte de 50 m/min em função dos avanços: a=0,05 mm/rot, b=0,15 mm/rot, c=0,05 mm/rot e d =0,15 mm/rot.

4.2.3. Análise Microscópica

Através da análise microscópica, foi possível efetuar um estudo mais cuidado e detalhado do acabamento das superfícies maquinadas, pela análise das entradas e saídas das amostras. Utilizou-se uma ampliação de 50x.

Na Figura 63 podemos observar o estado das entradas (e1, e2) e saídas (s1, s2), para a velocidade de corte de 110 m/min e o avanço de 0,05 mm/rot, das amostras testadas com MQL dos latões com chumbo ensaiados (1 – CuZn39Pb3 e 2 – CuZn40Pb2).

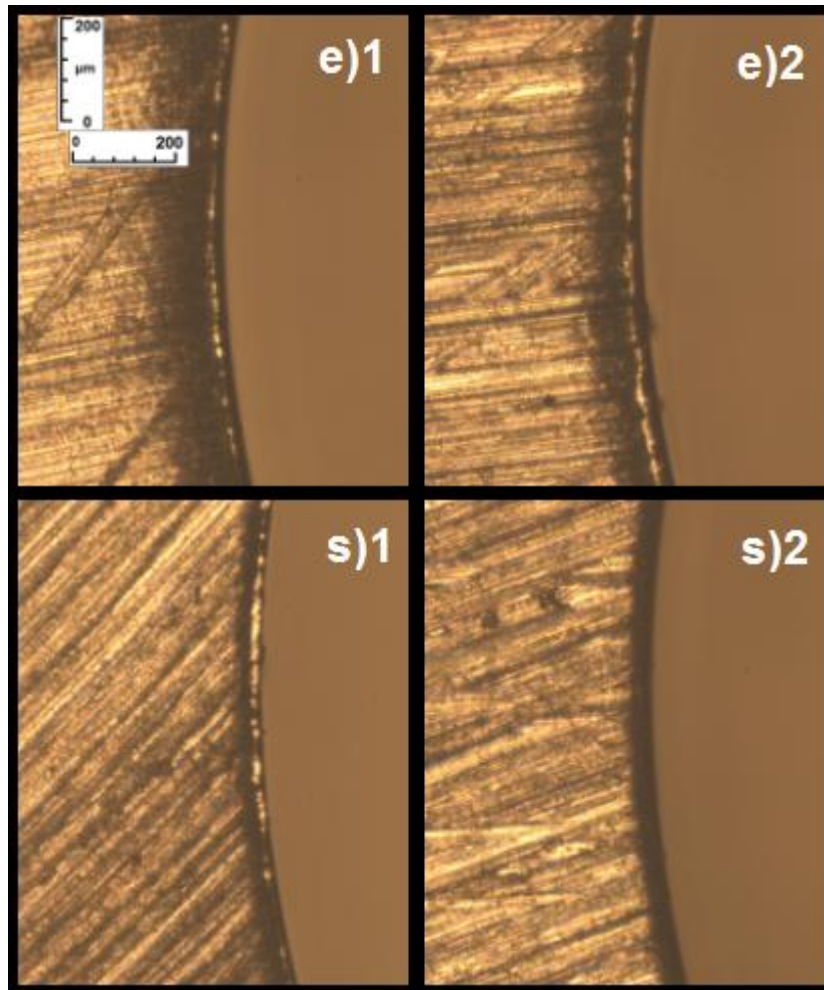


Figura 63: Entradas (e1, e2) e saídas (s1, s2) dos latões 1 (CuZn39Pb3) e 2 (CuZn40Pb2) maquinados com MQL, $f=0,05$ mm/rot e $V_c=110$ m/min.

Como se pode verificar, as entradas (e1, e2) e saídas (s1, s2) não apresentaram qualquer tipo de danos, facto que se confirmou igual para todas as amostras de latão com chumbo maquinadas, independentemente do tipo de lubrificação usado.

Na Figura 64 podemos observar o estado das entradas (e3, e4 e e5) e saídas (s3, s4 e s5), para a velocidade de corte de 110 m/min e o avanço de 0,05 mm/rot, das amostras testadas com MQL dos latões ecológicos ensaiados (3 – ECOASB20-AB2.1, 4 – ECOASB20-Z2.1 e 5 - ECOASB20-AA.2).

No caso destes latões, como já se tinha verificado na Figura 59 (rebarbas dos furos de saída), algumas das saídas apresentaram rebarbas, visíveis nesta figura com mais pormenor.

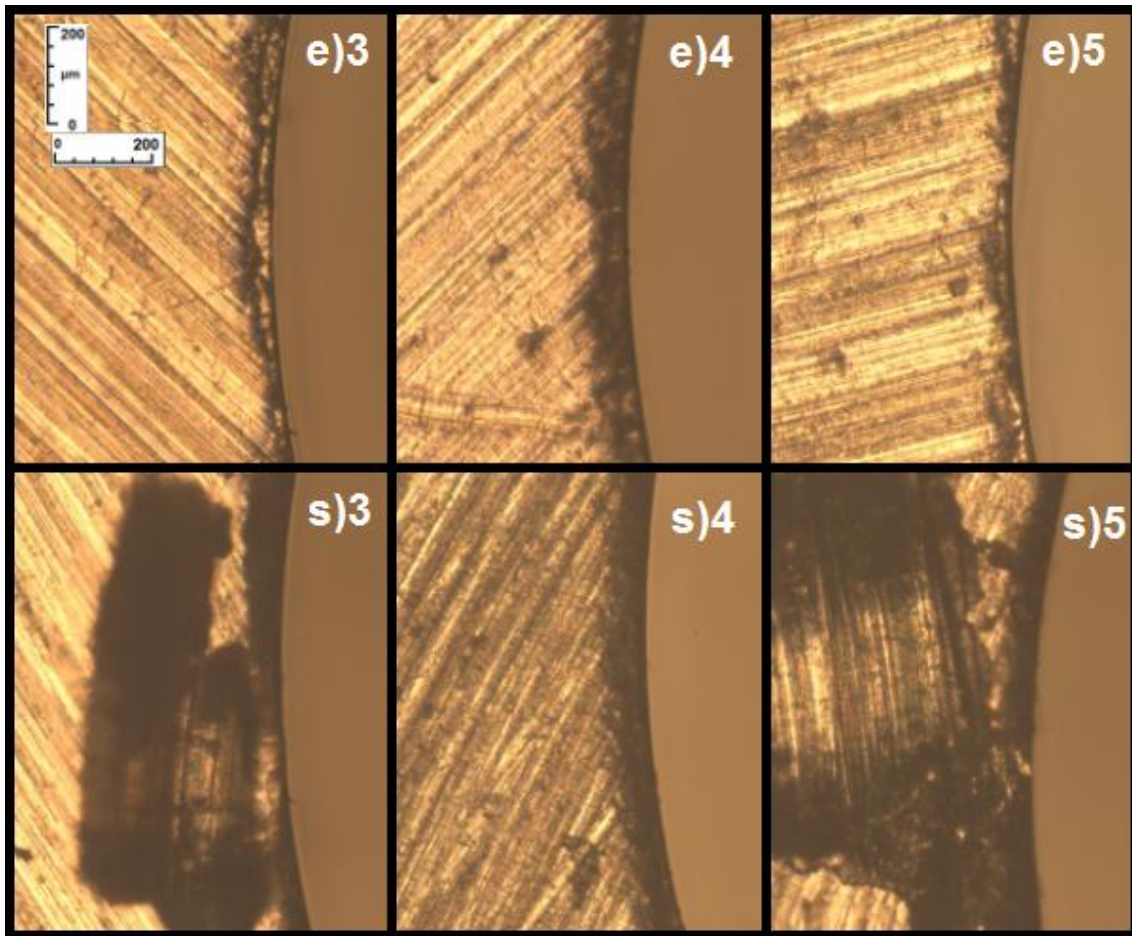


Figura 64: Entradas (e3, e4, e5) e saídas (s3, s4, s5) dos latões ecológicos maquinados com MQL, $f=0,05$ mm/rot e $V_c=110$ m/min.

4.2.4. Análise da Variação de Temperatura

O tipo de lubrificação utilizado em processos de maquinagem pode afetar o desempenho e o tempo de vida útil da ferramenta e a qualidade das superfícies maquinadas, não só pela redução do atrito que existe entre a ferramenta e a peça, mas também pela capacidade que o fluido lubrificante tem para arrefecer tanto a ferramenta como a peça maquinada.

A temperatura de cada peça foi registada durante a realização dos seis furos uma vez que a profundidade de furação era muito pequena e a temperatura gerada durante a realização de um único furo seria mínima. Assim, em cada amostra de latão foi registada a temperatura gerada durante a realização dos seis furos, correspondendo a duas

velocidades de avanço diferentes, cada uma com três velocidades de corte correspondentes.

A temperatura inicial das amostras variou entre os 18,9°C e os 20°C e entre a furação de cada amostra, arrefeceu-se a broca para a temperatura ambiente.

A Figura 65 contém as temperaturas máximas registadas durante a furação de cada peça, nos latões 2 (CuZn40Pb2), 3 (ECOASB20-AB2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2), em função das condições de maquinagem.

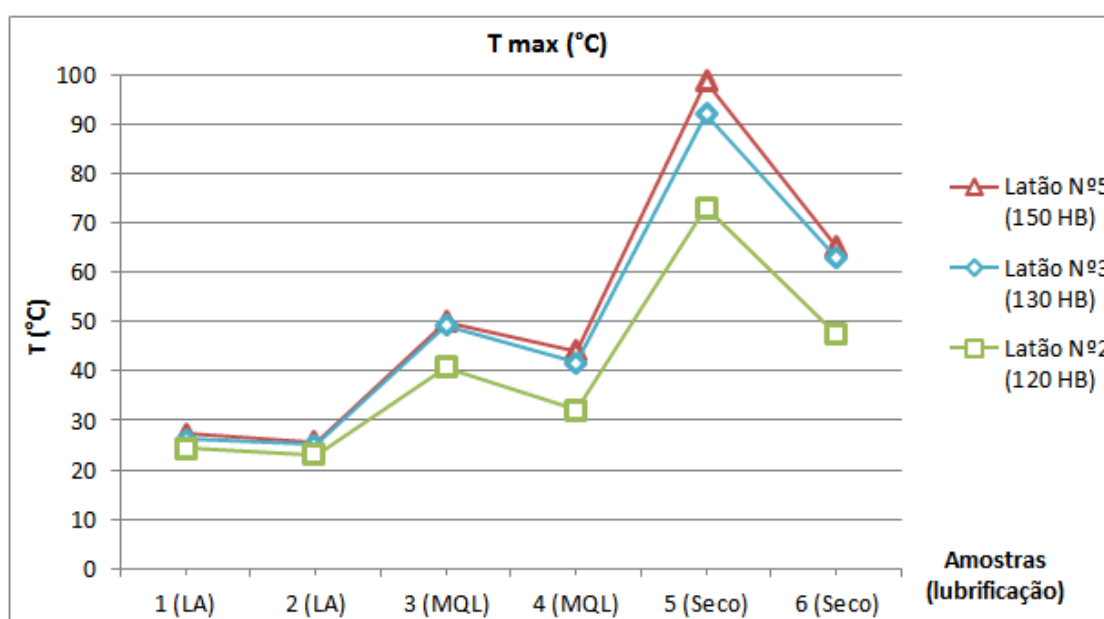


Figura 65: Temperaturas máximas geradas durante a furação dos latões 2 (CuZn40Pb2), 3 (ECOASB20-Z2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2) em função das condições de maquinagem.

Através da análise do gráfico apresentado, é possível verificar que a temperatura máxima atingida em cada peça varia consoante a lubrificação usada, de forma crescente da LA para a lubrificação a Seco. A temperatura máxima atingida pela LA foi de 27,3°C, para a MQL foi de 50°C e para a lubrificação a Seco foi de 98,6°C.

Apesar das temperaturas máximas registadas na MQL terem sido ligeiramente superiores às da LA, foram muito inferiores às registadas na maquinagem a seco nos três latões maquinados.

No caso do latão 2 (CuZn40Pb2), a MQL atingiu mais 9,2°C do que a LA, mas ficou 15,1°C abaixo do máximo atingido na maquinagem a Seco, para os latões furados com

os avanços de 0,20 e 0,40 mm/rot. Já no caso dos latões maquinados com os avanços de 0,05 e 0,10 mm/rot a MQL registou uma temperatura máxima superior à LA em 16,5°C mas inferior à da maquinagem a seco de 32,2°C.

No caso dos latões ecológicos os valores máximos atingidos foram muito semelhantes para as várias amostras, sendo que os mínimos foram registados para o latão 3. Neste caso, para os avanços de 0,05 e 0,10 mm/rot, a MQL registou uma temperatura máxima superior à LA em 22,9°C mas para os avanços mais rápidos essa temperatura foi apenas 16,5°C superior, enquanto que em relação à maquinagem a seco ficou 21,1°C abaixo do máximo atingido para os avanços mais rápidos e 42,8°C abaixo para os avanços mais lentos. Estes resultados mostram a capacidade de refrigeração da técnica de MQL, que se mostrou mais eficiente nos latões ecológicos.

Foi possível verificar que a temperatura máxima atingida também varia consoante o avanço utilizado, sendo maior para os avanços mais pequenos.

Notar que as amostras 1 (LA), 3 (MQL) e 5 (seco) de cada latão foram ensaiadas com os avanços de 0,05 e 0,10 mm/rot e as amostras 2 (LA), 4 (MQL) e 6 (seco) foram ensaiadas com os avanços de 0,20 e 0,40 mm/rot. Pensa-se que a diminuição da temperatura para os avanços mais acentuados se deve ao facto de a ferramenta estar menos tempo em contacto com o material a furar, apesar da força exercida pela ferramenta ser maior. Uma vez que o termómetro digital indicava a temperatura instantânea, foi possível verificar que sempre que a broca saía da peça para alterar a sua posição e realizar o furo seguinte, a temperatura da peça diminuía até que a broca começasse a furar novamente.

A dureza do tipo de latão usado também pode ter influência na temperatura atingida. Por exemplo, o latão 2 (CuZn40Pb2) com menor dureza (120 HB) atingiu sempre temperaturas mais baixas que os restantes. Os latões ecológicos (3 - ECOASB20-AB2.1 e 5 – ECOASB20-AA.2) atingiram temperaturas muito parecidas apesar de as do latão 3 terem sido ligeiramente mais baixas.

4.2.5. Síntese

Verificou-se o efeito do aumento de chumbo entre os latões 1 (CuZn39Pb3) e 2 (CuZn40Pb2), uma vez que o primeiro obteve valores de Ra mais baixos na maioria dos ensaios.

Nos ensaios com LA, os latões ecológicos 3 (ECOASB20-AB2.1), 4 (ECOASB20-Z2.1) e 5 (ECOASB20-AA.2) apresentaram valores de Ra substancialmente mais baixos do que ambos os latões com chumbo.

Com MQL, os valores de Ra obtidos pelos latões ecológicos aumentaram em relação aos ensaios com LA, mas de uma forma geral foram melhores do que os obtidos nos latões com chumbo.

O latão ecológico ECOASB20-AA.2 obteve os valores de Ra mais baixos em todos os testes com a MQL.

O aumento da velocidade de avanço leva a um aumento dos valores de Ra.

A lubrificação a Seco provou ser a pior opção em quase todas as amostras maquinadas, pois os valores de rugosidade obtidos foram sempre muito superiores aos das duas técnicas de lubrificação

A lubrificação com MQL deixou as amostras mais limpas em comparação com a LA e a maquinagem a seco.

Durante a furação com LA verificou-se a adesão de aparas à ferramenta de corte (broca) em ambos os tipos de latão.

Nenhum dos latões (com ou sem presença de chumbo) sofreu qualquer tipo de dano ou apresentou rebarbas nas entradas dos furos.

Os três latões ecológicos apresentam rebarbas na saída dos furos das amostras número 3 (MQL) e número 5 (seco). Nas amostras ensaiadas com MQL as rebarbas surgem para as três velocidades de corte do avanço de 0,10 mm/rot, sendo que a sua altura diminui com o aumento da velocidade de corte.

Os latões ecológicos geram maior temperatura do que os latões com chumbo durante a furação sob as mesmas condições de corte.

A MQL não tem o mesmo poder de arrefecimento da LA, mas supera claramente a maquinagem a Seco que obteve os valores máximos de temperatura para todos os latões.

5. Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros

Com esta dissertação pretende apresentar-se uma contribuição para uma manufatura sustentada através da maquinagem de latões ecológicos com recurso à MQL. Os resultados obtidos permitem obter as seguintes conclusões:

- O efeito da redução do chumbo entre os latões 1 (CuZn39Pb3) e 2 (CuZn40Pb2) conduz a valores de Ra mais elevados, em ambas as condições de lubrificação (MQL e LA), tanto na fresagem como na furação.
- A fresagem de latões ecológicos (ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1 e ECOASB20-AA.2) conduz a valores de Ra mais baixos do que a fresagem de latões com chumbo (CuZn39Pb3 e CuZn40Pb2), em LA e em MQL.
- A fresagem com MQL leva a melhores resultados de rugosidade superficial nos latões ecológicos em relação à fresagem com LA.
- A furação com LA de latões ecológicos (ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1, ECOASB20-AA.2) conduz a valores de Ra mais baixos do que ambos os latões com chumbo (CuZn39Pb3 e CuZn40Pb2).
- A maquinagem a seco dos latões gera valores de Ra muito superiores à maquinagem com lubrificação (LA e MQL), tanto em fresagem como em furação.
- A MQL deixa as amostras e a zona de maquinagem mais limpa em relação à LA e à maquinagem a seco, tanto ao nível das aparas como ao nível da peça maquinada.
- A presença de rebarbas verticais nas amostras fresadas verifica-se de forma idêntica nos latões com chumbo assim como nos ecológicos, e o seu tamanho diminui com o aumento da velocidade de avanço.

- Os latões apresentam danos em todas as saídas das pistas de fresagem que se acentuam pela ordem: CuZn39Pb3, CuZn40Pb2, ECOASB20-AB2.1, ECOASB20-Z2.1 e ECOASB20-AA.2, e também com o aumento das velocidades de corte e avanço.
- Os latões ecológicos geram maior temperatura do que os latões com chumbo, quando furados sob as mesmas condições de lubrificação. Durante a furação dos latões, a MQL mostrou uma capacidade de arrefecimento inferior à da LA.

Com base nesta dissertação, conclui-se que no que respeita à maquinagem, os latões ecológicos constituem uma boa alternativa aos latões com chumbo e que a técnica da MQL utilizada com fluidos lubrificantes biodegradáveis, pode substituir a LA se for usada numa gama controlada de parâmetros de corte.

Na sequência do trabalho realizado na presente dissertação, poderão ser projetados novos desafios e desenvolvimentos no sentido de tornar a técnica da MQL e o uso de latões ecológicos mais atrativos:

- Utilizar quantidades de lubrificantes diferentes da usada neste estudo, tanto inferiores como superiores com o objetivo de encontrar a “quantidade mínima ótima de lubrificante a usar”.
- Utilizar lubrificantes com aditivos: óleo misturado com água com o objetivo de diminuir os custos associados aos lubrificantes caso se mantenha a mesma qualidade superficial, e óleo misturado com álcool para testar se a capacidade de arrefecimento aumenta.
- Testar a utilização de MQL, com vários bocais, em processos de furação com o objetivo de melhorar a qualidade superficial.

6. Referências Bibliográficas

Kumar, S, et al. 2007. Effect of lead on the dezincification behaviour of leaded brass in neutral acid acidified 3.5% NaCl solution. *Materials Chemistry and Physics*. 2007, Vols. 106:134-141, 1.

Whiting , L.V., et al. 1999. Detailed analysis of mechanical properties of SeBiLOYS I and II. *AFS Trans*. 182, 1999, 343-51.

Whiting, LV e Sahoo, M. 1996. Modified red brass with bismuth: a literature review and analysis. *Trans Am Foundrymen's Soc*. 103, 1996, 395–413.

Alberto da silva Barbosa & Filhos, Lda. 2012. Aplicação/Mercados. *Alberto da silva Barbosa & Filhos, Lda*. [Online] 2012. [Citação: 28 de 08 de 2012.]
http://www.asb.pt/aplicacao_mercados.html.

Astakhov , V.P. 2008. Ecological Machining: Near-dry Machining. [autor do livro] J.P. Davim. *Machining - Fundamentals and Recent Advances*. s.l. : Springer, 2008.

Bhowmick, S., Lukitsch, M. J. e Alpas, A. A. 2010. Dry and minimum quantity lubrication drilling of cast magnesium alloy (AM60). *Internacional Journal of Machine Tools and Manufacture*. 50, 2010, 444-457.

Braga, D., et al. 2002. Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum–silicon alloys. *Journal of Materials Processing Technology* . 2002, Vol. 122, 127-138.

Bruma. 2007. ECOBRASS. *BRUMA*. [Online] 2007. [Citação: 21 de 07 de 2012.]
<http://www.bruma.pt/>.

Bursikova, V, et al. 2002. Creep behaviour of leaded brass. *Materials Science and Engineering*. A324, 2002, 235-238.

Byrne, G. e Scholta, E. 1993. Environmentally clean machining processes—a strategic approach. *Ann. CIRP*. 42 (1), 1993, 471-525.

Copper Development Association Inc. 2012. Non-Leaded* Red Brass and Yellow Brass Casting Alloys. *Copper Development Association Inc.* [Online] 2012. [Citação: 16 de Agosto de 2012.] <http://www.copper.org/applications/industrial/lowlead.html>.

Copper Development Association. 2005. Pub 117 The Brasses - Properties & Applications. *Copper Development Association.* [Online] 2005. [Citação: 01 de 07 de 2012.] <http://www.copperinfo.co.uk/alloys/brass/downloads/117/117-section-8-brief-history-of-brass.pdf>.

Correia , A.E. e Davim, J.P. 2006. EFEITO DA LUBRIFICAÇÃO MÍNIMA (MQL - MINIMAL QUANTITY OF LUBRICANT) NA MAQUINAGEM DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO. *Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões* . 2006, Vol. 13, 27-34.

D. Davis. 1993. *Bismuth in copper and copper base alloys: a literature review.* s.l. : Copper Development Association, 1993.

D. Peters. 1995. Bismuth Modified Cast Red Brasses to Meet U.S. Drinking Water Standards. *Copper Development Association.* [Online] 1995. [Citação: 16 de Agosto de 2012.]

Davim, J.P., et al. 2006. Experimental studies on drilling of aluminium (AA1050) under dry, minimum quantity of lubricant, and flood-lubricated condition. *Proceedings of the IMechE, Part B: Journal of Engineering Manufacture.* 220, 2006, 1605-1611.

Davim, J.P., Sreejith, P. S. e Silva, J. 2007. Turning of brasses using minimum quantity of lubricant (MQL) and flooded-lubricant conditions. *Materials and Manufacturing Processes.* 22, 2007, 45-50.

Davim, João Paulo. 2008. *Princípios da Maquinagem (2ª Ed).* s.l. : Publindústria, 2008. 9789728953249.

Dhar, N., Kamruzzaman, M. e Mahiuddin, A. 2006. Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology* . 172, 2006, 299-304.

Diessendorf, M., et al. 2000. *Sustainability: The Corporate Challenge of the 21st Century.* Sydney : Allen & Unwin, 2000.

Euralliage - CuZn39Pb3 . 2012. CuZn39Pb3 (CW614N). *Euralliage.* [Online] 2012. [Citação: 12 de 07 de 2012.] http://www.euralliage.com/cw614n_english.htm.

Euralliage - CuZn40Pb2. 2012. CuZn40Pb2 (CW617N). *Euralliage.* [Online] 2012. [Citação: 12 de 07 de 2012.] http://www.euralliage.com/cw617n_english.htm.

European Commission. 2010. Factories of the Future. *European Commission.* [Online] 2010. [Citação: 18 de 07 de 2012.] http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html.

Ford. 2012. Sustainability. [Online] 2012. [Citação: 26 de 07 de 2012.] <http://corporate.ford.com/doc/sr11-summary.pdf>.

- Fox-Rabinovich, G., et al. 2011.** Cutting performance of different coatings during minimum quantity lubrication drilling of aluminum silicon B319 cast alloy. *Surface & Coatings Technology*. 205, 2011, 4107-4116.
- French, A. 1973.** Improved free-machining leaded brass. *The Journal of the Institute of Metals*. 101, 1973, 31-34.
- Gaitonde, V. N., Karnik, S.R. e Davim, J.P. 2008.** Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass. *Journal of Materials Processing Technology*. 204, 2008, 459-464.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R. e Davim, J.P. 2012.** OPTIMAL MQL AND CUTTING CONDITIONS DETERMINATION FOR DESIRED SURFACEROUGHNESS IN TURNING OF BRASS USING GENETIC ALGORITHMS. *Machining Science and Technology: An International Journal*. 16:2, 2012, 304-320.
- Haruhiko, Atsumi, et al. 2001.** High-strength, lead-free machinable α - β duplex phase brass Cu-40Zn-Cr-Fe-Sn-Bi alloys. *Materials Science and Engineering A*. 529, 2001, 275-281.
- Heinemann, R., et al. 2006.** Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 46(1), 2006, 1-6.
- Jayal, A. D., et al. 2010.** Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2010.
- Jovane, F., et al. 2008.** The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 57, 637-643, 2008.
- Jovane, F., Westkämper, E. e Williams, D. 2009.** The manufacture road. 2009.
- Klocke, F. e Eisennblätter, G. 1998.** Dry cutting. *Annals of the CIRP*. 46, 1998, 519-526.
- Lugscheider, E., et al. 1997.** Investigations on hard coated reamers in different lubricant free cutting operations. *Surface and Coatings Technology*. 90, 1997, 172-177.
- Machado, A.R. e Wallbank, J. 1997.** The effect of extremely low lubricant volumes in machining. *Wear* 210. 1997, 76-82.
- Mackerer, C.R.**
- Michels, H.T. January 2002.** Replacing lead in brass plumbing castings. *Advanced Materials & Process*. January 2002, 75-77.
- Mitsubishi Shindoh. 2012.** ECO BRASS® lead-free, environmentally friendly. "ECO BRASS®" a new alloy for the 21st century. [Online] 2012. [Citação: 21 de 07 de 2012.] http://www.ecobrass.com/html_e/index-e.html.

NACFAM, National Council for Advanced Manufacturing. 2008. Sustainable Manufacturing. *NACFAM*. [Online] 2008. [Citação: 15 de julho de 2012.] <http://www.nacfam.org/PolicyInitiatives/SustainableManufacturing/tabid/64/Default.aspx>.

Nandi, A.K. e Davim, J.P. 2009. A study of drilling performances with minimum quantity of lubricant using fuzzy logic rules. *Mechatronics*. 19, 2009, 218-232.

Peters, D.T. 1997. New bismuth/selenium red brass alloys solve lead concerns. *Mod Cast*. 87, 1997, 57-9.

Rahman, M., Kumar, A.S. e Manzoor-UI-Salam. 2001. Evaluation of minimal quantities of lubricant in end milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 18, 2001, 235-241.

Rahman, M., Kumar, A.S. e Manzoor-UI-Salam. 2002. Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 42, 2002, 539-547.

Rohatgi, P, Nath, D. e Ray, S. 1993. Casting characteristics of machinable lead-free copper graphite alloys. *AFS Transactions*. 93-104. 1993, 49-58.

Rolls-Royce. 2010. Annual Reports archive. [Online] 2010. [Citação: 27 de 06 de 2012.] www.rolls-royce.com/reports/2010/index.shtml.

Sahm, D. e Schneider. 1996. A produção sem Refrigeração é Interessante e Deve ser mais Conhecida. *Máquinas e Metais, Editora Aranda*. August, 1996, 38-55.

Saigal, A. e Rohatgi, P. K. 2006. Machinability of Cast Lead-Free Yellow Brass Containing Graphite Particles. *AFS Transactions*. 104, 2006, 225-228.

Smith, L. e Ball, P. 2012. Steps towards sustainable manufacturing through modelling material, energy and waste flows. *International Journal of Production Economics*. 2012.

Sokovic, M. e Mijanovic, K. 2001. Ecological Aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes. *Journal of Materials Processing Technology*. 109, 2001, 184-189.

Sony. 2010. Sony launches Road to Zero Environmental Plan and Sets 2015 Mid-term. [Online] 2010. [Citação: 02 de 07 de 2012.] www.sony.com/SCA/press/100407.shtml.

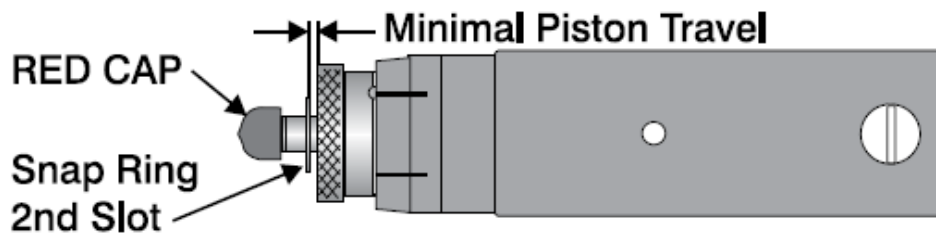
Thomson, J.P., Sadayappan, M. e Sahoo, M. 2003. Evaluation of grain refinement of leaded yellow brass (C85800) and EnviroBrass III (C89550) using thermal analysis. *AFS Trans*. 3-119, 2003, 417-34.

World Commission on Environment and Development, Our Common Future. Brundtland, G. 1987. Oxford, UK : Oxford University Press, 1987.

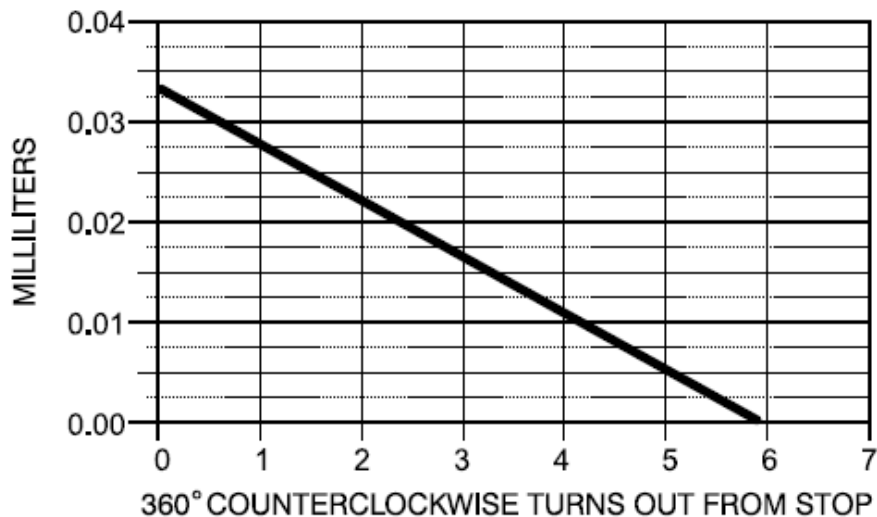
7.Anexos

Anexo 1 - Gráfico MQL

"1 Drop" OUTPUT METER



OUTPUT PER CYCLE, 1 - DROP METER (UNIST PART No. 94-6811)



NOTE: 1-Drop is approx. .033 ml - Test conducted under standard conditions with Coolube 2210 (Viscosity 16cs @ 25° C) at a cycling rate of 120 cycles/minute. Results may vary with the use of other fluids and higher cycling rates.

Anexo 2 – Programas CNC Utilizados na Fresagem

LA – Peça 1 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M08
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F95.49
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F143.25
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F206.88
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

LA - Peça 2 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M08
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F381.96
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F573
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F827.52
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

LA – Peça 1 - Lado B

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M08
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F190.98
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F286.5
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F413.76
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

LA – Peça 2 - Lado B

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M08
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F763.92
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F1146
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F1655.04
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

MQL/Seco – Peça 1 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M09
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F95.49
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F143.25
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F206.88
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

MQL/Seco – Peça 2 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M09
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F381.96
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F573
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F827.52
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

MQL/Seco – Peça 1 - Lado B

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M09
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F190.98
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F286.5
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F413.76
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

MQL/Seco – Peça 2 - Lado B

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T X
G00 X7. Y14. S3183 M03
G43 Z z. H X M09
G01 Z-2. F200
G01 Y-14. F763.92
G00 X0. Y16. S4775
G01 Y16. F1146
G00 X-7. Y14. S6896
G01 Y-14. F1655.04
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

Anexo 3 - Programas Utilizados na Furação

LA – Peça 1 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T5
G00 X-3.5 Y6.062 S3183 M03
G43 G00 Z10. H05
G01 Z5. F200 M08
G81 G98 Z-17. R5 F159.15 L1
G90 G00 Z5.
X-7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-17. R5 F254.6 L1
G90 G00 Z5.
X-3.5 Y-6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-17 R5 F350.15 L1
G90 G00 Z5.
X3.5 Y-6.062 S3183 M03
G81 G98 Z-17 R5 F318.3 L1
G90 G00 Z5.
X7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-17 R5 F509.2 L1
G90 G00 Z5
X3.5 Y6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-17. R5 F700.3 L1
G90 G00 Z5. M09
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

LA – Peça 2 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T5
G00 X-3.5 Y6.062 S3183 M03
G43 G00 Z10. H05
G01 Z5. F200 M08
G81 G98 Z-14. R5 F477.15 L1
G90 G00 Z5.
X-7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-14. R5 F763.8L1
G90 G00 Z5.
X-3.5 Y-6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-14 R5 F1050.45 L1
G90 G00 Z5.
X3.5 Y-6.062 S3183 M03
G81 G98 Z-14 R5 F636.5 L1
G90 G00 Z5.
X7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-14 R5 F1018.4 L1
G90 G00 Z5
X3.5 Y6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-14. R5 F1400.6 L1
G90 G00 Z5. M09
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

MQL/Seco – Peça 1 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T5
G00 X-3.5 Y6.062 S3183 M03
G43 G00 Z10. H05
G01 Z5. F200 M09
G81 G98 Z-14. R5 F159.15 L1
G90 G00 Z5.
X-7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-14. R5 F254.6 L1
G90 G00 Z5.
X-3.5 Y-6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-14 R5 F350.15 L1
G90 G00 Z5.
X3.5 Y-6.062 S3183 M03
G81 G98 Z-14 R5 F318.3 L1
G90 G00 Z5.
X7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-14 R5 F509.2 L1
G90 G00 Z5
X3.5 Y6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-14. R5 F700.3 L1
G90 G00 Z5. M09
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

MQL/Seco – Peça 2 - Lado A

G00 G90 G55
G80 M09
M06 T5
G00 X-3.5 Y6.062 S3183 M03
G43 G00 Z10. H05
G01 Z5. F200 M09
G81 G98 Z-14. R5 F477.15 L1
G90 G00 Z5.
X-7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-14. R5 F763.8L1
G90 G00 Z5.
X-3.5 Y-6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-14 R5 F1050.45 L1
G90 G00 Z5.
X3.5 Y-6.062 S3183 M03
G81 G98 Z-14 R5 F636.5 L1
G90 G00 Z5.
X7. Y0. S5092 M03
G81 G98 Z-14 R5 F1018.4 L1
G90 G00 Z5
X3.5 Y6.062 S7003 M03
G81 G98 Z-14. R5 F1400.6 L1
G90 G00 Z5. M09
G00 G91 G28 Z0. M09
G90 M19
M30

Anexo 4 - Parâmetros de Rugosidade da Fresagem

Latão Nr°1 – CuZn39Pb3 (LA)												
Amostra	1						2					
f [mm/rot]	0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]	60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro	RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,33	0,29	0,26	0,31	0,29	0,38	0,42	0,38	0,46	0,84	1,22
RzD	µm	2,33	2,20	1,92	2,28	2,28	2,58	2,64	2,67	3,26	4,94	6,67
Rzi	µm	2,50	2,73	2,00	2,55	2,37	2,83	3,10	2,82	3,49	5,45	6,82
RzJ	µm	3,16	3,52	2,45	2,84	2,61	3,36	3,96	3,18	3,60	5,34	6,95
RmD	µm	2,58	2,78	2,20	2,68	2,46	2,90	3,54	3,16	3,86	5,96	7,56
RmJ	µm	3,52	3,96	2,72	3,10	2,88	3,58	5,06	4,14	4,40	5,58	7,32
Rt	µm	2,70	3,10	2,28	2,78	2,48	3,04	3,84	3,24	3,90	6,04	7,56
Pc	cm	0022	0015	0010	0030	0027	0050	0050	0045	0060	0040	0060
Rp	µm	0,98	0,88	0,72	1,00	0,70	1,06	1,36	1,56	1,48	3,46	4,06
Rpm	µm	0,84	0,64	0,62	0,77	0,64	0,91	1,06	1,06	1,27	2,81	3,86
Rq	µm	0,43	0,40	0,33	0,41	0,38	0,49	0,53	0,49	0,59	1,06	1,47
R3z	µm	1,66	1,28	1,20	1,69	1,65	1,95	1,98	1,97	2,14	3,86	4,59
Pt	µm	3,52	3,42	2,72	3,10	2,88	3,58	5,06	4,14	4,40	5,58	7,32
Sm	µm	444,4	11,30	344,6	333,3	363,6	200,0	200,0	222,2	166,6	250,0	285,7
Latão Nr°1 – CuZn39Pb3 (MQL)												
Amostra	3						4					
f [mm/rot]	0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]	60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro	RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,32	0,28	0,26	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40	0,74	1,04
RzD	µm	2,27	1,90	1,80	2,77	3,98	2,87	2,67	3,04	2,76	4,40	6,57
Rzi	µm	2,57	2,10	3,20	3,16	4,26	3,00	3,21	3,33	3,27	4,73	6,89
RzJ	µm	3,10	2,62	3,77	3,32	4,83	3,20	3,99	3,59	4,13	5,21	7,24
RmD	µm	2,66	2,34	3,50	3,32	4,74	3,32	3,24	3,90	3,22	5,04	8,00
RmJ	µm	3,26	3,20	4,34	3,50	5,62	3,60	4,40	3,88	4,64	6,34	9,02
Rt	µm	2,84	2,34	2,30	3,66	3,52	3,36	3,46	3,90	3,66	5,50	8,14
Pc	cm	0020	0015	0045	0072	0120	0070	0047	0040	0047	0040	0035
Rp	µm	1,08	0,82	1,30	1,40	1,96	1,16	1,56	1,22	1,32	2,96	4,46
Rpm	µm	0,81	0,63	1,08	0,95	1,60	1,02	1,05	1,04	1,00	2,50	4,04
Rq	µm	0,43	0,36	0,56	0,54	0,75	0,52	0,54	0,54	0,51	0,93	1,37
R3z	µm	1,80	1,46	2,21	2,01	3,04	2,10	2,04	2,15	2,13	3,24	4,44
Pt	µm	3,26	3,20	2,52	3,50	5,62	3,60	4,40	3,88	4,64	6,34	9,02
Sm	µm	500,0	11,30	222,2	137,9	83,33	142,8	210,5	250,0	210,5	250,0	285,7
Latão Nr°1 – CuZn39Pb3 (Seco)												
Amostra	5						6					
f [mm/rot]	0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]	60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro	RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,73	0,65	0,95	0,67	0,66	0,70	1,08	0,93	0,91	1,41	1,51
RzD	µm	5,00	4,58	5,30	4,60	4,49	4,36	6,49	5,80	5,50	7,79	8,12
Rzi	µm	6,66	5,25	5,85	4,94	4,85	4,71	6,84	6,49	5,71	8,30	8,98
RzJ	µm	7,81	6,10	9,14	5,86	5,07	6,25	7,80	7,29	6,98	8,43	9,70
RmD	µm	6,50	5,58	5,92	4,86	5,16	5,76	7,38	6,70	6,82	8,68	9,68
RmJ	µm	8,50	7,50	10,62	6,60	5,46	7,30	9,44	8,06	8,98	9,00	10,56
Rt	µm	7,70	5,58	5,00	7,92	5,70	5,76	8,06	7,14	6,82	9,28	9,68
Pc	cm	0102	0122	0097	0115	0095	0117	0095	0085	0097	0065	0082
Rp	µm	3,72	2,40	2,62	2,48	2,12	2,22	3,76	3,40	2,70	4,08	4,56
Rpm	µm	2,21	2,06	2,21	1,99	1,62	1,88	3,08	2,80	2,31	3,57	3,73
Rq	µm	0,96	0,86	1,16	0,85	0,83	0,89	1,34	1,18	1,12	1,70	1,83
R3z	µm	3,59	3,35	4,36	3,34	3,29	3,40	4,98	3,84	4,09	5,62	5,90
Pt	µm	8,50	7,50	7,40	8,80	5,46	7,30	9,44	8,06	8,98	9,00	10,56
Sm	µm	97,56	81,63	102,5	86,95	105,2	85,10	105,2	117,6	102,5	153,8	142,8

Latão Nr°2 – CuZn40Pb2 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,38	0,39	0,45	0,51	0,43	0,42	0,60	0,57	0,50	0,79	0,54	1,13
RzD	µm	2,65	2,47	2,82	3,38	2,77	2,81	3,86	3,56	3,32	4,82	3,39	6,40
Rzi	µm	3,16	3,08	3,34	3,67	2,98	2,95	3,90	3,78	3,83	5,04	3,76	7,00
RzJ	µm	3,29	3,43	3,64	3,99	3,70	3,35	4,82	7,10	4,86	5,48	4,52	7,16
RmD	µm	3,36	3,40	3,48	4,38	3,02	3,18	4,16	3,88	4,14	5,54	4,40	8,58
RmJ	µm	3,46	3,78	3,94	4,92	3,92	3,72	5,44	7,66	5,16	5,82	4,86	8,74
Rt	µm	3,36	3,40	3,86	4,70	3,28	3,22	4,28	4,04	4,46	5,68	4,40	8,70
Pc	cm	0025	0015	0037	0062	0042	0060	0057	0067	0052	0040	0055	0035
Rp	µm	1,08	1,38	1,12	1,34	1,16	1,14	1,88	1,52	1,62	3,00	1,78	5,12
Rpm	µm	0,75	0,85	0,93	1,07	0,92	0,96	1,58	1,32	1,37	2,56	1,37	3,72
Rq	µm	0,52	0,52	0,58	0,66	0,57	0,55	0,74	0,72	0,63	0,99	0,70	1,37
R3z	µm	1,74	1,94	1,97	2,43	2,20	2,18	2,78	2,52	2,54	3,78	2,66	3,90
Pt	µm	3,46	3,78	3,94	4,92	3,92	3,72	5,44	7,66	5,16	5,82	4,86	8,74
Sm	µm	400,0	11,30	266,6	160,0	235,2	166,6	173,9	148,1	190,4	250,0	181,8	285,7
Latão Nr°2 – CuZn40Pb2 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,48	0,47	0,42	0,39	0,44	0,43	0,36	0,33	0,30	0,73	0,68	1,04
RzD	µm	3,23	3,17	2,82	2,99	2,91	2,97	2,60	2,68	2,13	3,77	3,69	5,24
Rzi	µm	3,68	3,43	3,19	3,10	3,15	3,20	2,77	3,12	2,30	4,16	4,17	5,56
RzJ	µm	4,04	4,15	3,32	3,26	3,65	3,56	2,96	4,20	2,67	4,35	6,72	6,51
RmD	µm	4,04	3,90	3,22	3,64	3,28	3,74	2,96	3,70	2,96	4,80	4,30	5,50
RmJ	µm	5,22	4,62	3,86	3,54	3,98	3,86	3,34	4,54	2,88	4,82	6,98	7,12
Rt	µm	4,38	3,90	3,66	3,64	3,42	3,74	3,30	3,84	2,96	4,80	4,56	6,06
Pc	cm	0050	0037	0032	0045	0050	0062	0052	0022	0035	0040	0037	0037
Rp	µm	1,66	1,30	1,28	1,24	1,36	1,32	1,14	1,28	1,12	2,50	2,40	3,76
Rpm	µm	1,04	0,94	0,90	0,92	1,16	1,08	0,98	1,00	0,94	2,16	1,92	3,29
Rq	µm	0,62	0,62	0,54	0,52	0,56	0,56	0,45	0,44	0,38	0,89	0,84	1,26
R3z	µm	2,14	2,33	1,90	2,10	2,30	2,11	1,77	1,59	1,50	3,02	2,76	3,70
Pt	µm	5,22	4,62	3,86	3,54	3,98	3,86	3,34	4,54	2,88	4,82	6,98	7,12
Sm	µm	200,0	266,6	307,6	222,2	200,0	160,0	190,4	444,4	285,7	250,0	266,6	266,6
Latão Nr°2 – CuZn40Pb2 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,82	0,88	0,90	0,94	0,75	1,04	1,19	1,00	1,71	1,76	1,46	1,21
RzD	µm	4,84	5,53	5,92	5,88	4,25	6,27	6,60	5,95	10,10	9,27	7,94	7,64
Rzi	µm	5,58	5,76	6,41	6,39	4,76	6,51	7,69	6,41	10,95	10,84	8,48	8,20
RzJ	µm	6,44	6,23	7,14	7,28	6,80	8,80	9,56	7,40	11,56	10,90	9,77	8,49
RmD	µm	5,98	7,02	7,26	6,74	5,24	7,34	7,78	7,76	13,46	11,54	9,28	9,44
RmJ	µm	7,20	7,22	8,26	7,64	9,52	9,74	10,72	8,20	13,14	11,36	10,38	10,34
Rt	µm	5,98	7,02	7,50	8,08	5,42	7,54	8,24	7,76	13,46	12,66	10,04	9,68
Pc	cm	0077	0087	0120	0082	0090	0105	0080	0087	0095	0052	0052	0082
Rp	µm	2,52	2,66	4,06	3,30	1,96	3,14	3,60	4,08	7,32	5,70	5,36	3,94
Rpm	µm	1,88	1,97	2,87	2,28	1,70	2,82	3,06	2,91	4,91	3,82	3,94	3,55
Rq	µm	1,03	1,10	1,16	1,20	0,95	1,28	1,51	1,25	2,14	2,23	1,78	1,54
R3z	µm	3,53	3,87	4,36	4,09	3,49	4,46	5,00	4,42	7,09	6,44	5,62	4,92
Pt	µm	7,20	7,22	8,26	7,64	9,52	9,74	10,72	8,20	13,14	11,36	10,38	10,34
Sm	µm	129,0	114,2	82,33	121,2	111,1	95,23	125,0	114,2	105,2	190,4	190,4	121,2

Latão Nr°3 – ECOASB20-AB2.1 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,50	0,36	0,31	0,45	0,45	0,43	0,44	0,41	0,49	0,78	0,68	1,36
RzD	µm	3,40	2,35	1,95	2,88	3,05	2,94	3,02	2,86	3,18	4,40	3,45	6,77
Rzi	µm	4,06	2,66	2,36	3,15	3,24	3,22	3,14	3,04	3,67	5,02	3,78	6,89
RzJ	µm	4,54	5,12	3,16	4,22	3,89	4,25	3,64	3,88	3,76	5,30	4,67	7,51
RmD	µm	4,20	3,24	2,62	3,06	3,42	3,88	4,14	3,44	3,84	5,38	4,10	7,50
RmJ	µm	5,38	6,06	3,76	4,64	4,08	4,82	4,90	4,60	4,28	5,94	4,98	8,12
Rt	µm	4,28	3,30	2,62	3,46	3,48	3,88	4,14	3,86	4,26	5,38	4,10	7,50
Pc	cm	0030	0025	0022	0037	0047	0032	0030	0050	0060	0042	0047	0035
Rp	µm	1,64	1,08	1,04	1,28	1,10	1,46	1,44	1,32	1,44	3,18	2,16	5,30
Rpm	µm	1,09	0,85	0,76	1,02	1,00	1,08	1,29	1,07	1,22	2,59	1,84	4,75
Rq	µm	0,67	0,45	0,40	0,57	0,60	0,56	0,56	0,53	0,64	0,96	0,82	1,70
R3z	µm	2,15	1,88	1,42	2,07	2,12	2,02	2,01	2,06	2,29	3,28	2,62	3,36
Pt	µm	5,38	6,06	3,76	4,64	4,08	4,82	4,90	4,60	4,28	5,94	4,98	8,12
Sm	µm	333,3	400,0	444,4	266,6	210,5	307,6	333,3	200,0	166,6	235,2	210,5	285,7
Latão Nr°3 – ECOASB20-AB2.1 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,30	0,32	0,19	0,26	0,24	0,21	0,32	0,31	0,26	0,75	0,58	1,27
RzD	µm	2,94	2,05	1,36	1,85	1,94	1,27	2,16	1,72	1,64	3,96	2,71	5,86
Rzi	µm	3,18	2,92	1,45	1,90	2,12	1,49	2,53	2,11	1,98	4,16	3,12	6,04
RzJ	µm	4,45	3,39	2,01	2,16	2,16	1,84	3,04	3,17	2,55	4,57	4,60	6,54
RmD	µm	3,44	3,26	1,54	2,20	2,68	1,40	2,44	2,22	2,14	4,26	3,66	6,20
RmJ	µm	5,64	3,86	2,26	2,46	2,46	2,06	3,28	3,44	2,90	4,78	4,78	6,94
Rt	µm	3,84	3,26	1,90	2,22	2,68	1,62	2,72	2,64	2,42	4,38	3,66	6,20
Pc	cm	0045	0022	0010	0017	0012	0010	0025	0012	0015	0037	0037	0035
Rp	µm	1,52	1,02	0,76	0,74	0,90	0,78	1,26	1,12	1,04	2,82	2,38	4,50
Rpm	µm	1,08	0,84	0,54	0,66	0,70	0,60	0,93	0,86	0,78	2,58	1,62	4,18
Rq	µm	0,60	0,43	0,25	0,32	0,32	0,26	0,42	0,39	0,33	0,92	0,69	1,56
R3z	µm	2,17	1,47	0,85	1,29	1,11	0,98	1,57	1,36	1,21	2,95	1,82	3,40
Pt	µm	3,70	3,86	2,26	2,46	2,46	2,06	3,28	3,44	2,90	4,78	4,78	6,94
Sm	µm	222,2	444,4	344,6	571,4	144,6	344,6	400,0	144,6	11,30	266,6	266,6	285,7
Latão Nr°3 – ECOASB20-AB2.1 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,34	1,21	1,12	1,24	1,24	1,21	1,14	1,18	1,03	0,81	0,69	1,32
RzD	µm	7,72	6,48	6,92	7,32	7,03	7,21	6,20	6,54	5,87	5,98	4,28	6,84
Rzi	µm	8,30	7,49	7,70	8,32	8,36	10,92	6,69	7,84	8,28	8,21	5,24	7,92
RzJ	µm	9,16	9,25	8,60	9,41	12,62	12,54	7,78	9,00	10,47	8,23	7,40	8,60
RmD	µm	9,64	8,04	8,70	10,14	9,34	12,58	6,96	8,72	9,06	9,76	6,44	8,50
RmJ	µm	9,64	10,12	10,12	10,80	16,24	13,74	8,48	10,10	12,42	9,52	7,78	9,80
Rt	µm	9,64	8,04	7,86	10,14	9,68	15,46	10,10	8,76	9,22	9,76	6,44	9,32
Pc	cm	0085	0110	0052	0097	0060	0052	0070	0062	0070	0045	0035	0032
Rp	µm	4,06	3,70	4,96	4,068	3,78	9,02	3,34	5,24	5,54	4,06	2,40	5,24
Rpm	µm	3,51	2,84	3,28	3,82	3,25	3,79	2,94	3,49	2,86	2,94	1,94	4,53
Rq	µm	1,67	1,49	1,46	1,57	1,55	1,81	1,44	1,51	1,40	1,18	0,89	1,64
R3z	µm	5,37	4,88	4,49	5,10	4,68	4,51	4,65	4,83	3,96	2,32	2,07	4,94
Pt	µm	9,64	9,05	8,56	10,10	16,24	13,74	8,48	10,10	12,42	9,52	7,78	9,80
Sm	µm	117,6	90,90	190,4	102,5	166,6	190,4	142,8	160,0	142,8	222,2	285,7	307,6

Latão Nr°4 – ECOASB20-Z2.1 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,33	0,32	0,31	0,40	0,40	0,43	0,39	0,38	0,36	0,78	0,69	1,19
RzD	µm	2,38	2,47	2,52	3,11	2,74	2,76	2,76	2,49	2,59	4,86	3,96	6,18
Rzi	µm	2,66	2,66	2,71	3,31	3,16	3,00	3,14	2,96	2,65	5,56	4,38	6,60
RzJ	µm	2,95	3,29	3,18	3,89	3,48	3,01	3,28	4,85	3,36	6,04	4,40	7,04
RmD	µm	2,86	2,84	2,74	4,00	3,36	3,24	3,30	3,22	2,86	6,96	4,54	7,64
RmJ	µm	3,20	3,66	3,42	4,54	3,58	3,48	3,62	5,44	3,70	7,22	4,90	7,62
Rt	µm	3,08	2,98	2,86	4,00	3,66	3,24	3,30	3,28	2,98	6,96	4,86	7,64
Pc	cm	0020	0022	0017	0075	0037	0052	0052	0035	0052	0040	0047	0035
Rp	µm	1,14	0,94	0,86	1,48	1,34	1,24	1,22	1,68	1,20	3,42	2,90	4,62
Rpm	µm	0,77	0,76	0,74	1,30	0,96	1,00	1,00	1,08	1,05	2,65	2,34	4,13
Rq	µm	0,44	0,42	0,42	0,52	0,52	0,55	0,52	0,49	0,46	0,99	0,85	1,47
R3z	µm	1,64	1,53	1,49	2,45	2,00	2,02	2,02	1,71	1,87	3,30	2,71	2,51
Pt	µm	3,20	3,66	3,42	4,54	3,58	3,48	3,62	5,44	3,70	7,22	4,90	7,62
Sm	µm	500,0	444,4	571,4	133,3	266,6	190,4	190,4	285,7	190,4	250,0	210,5	285,7
Latão Nr°4 – ECOASB20-Z2.1 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,36	0,33	0,32	0,38	0,35	0,28	0,33	0,31	0,29	0,67	0,56	1,14
RzD	µm	2,40	2,32	2,36	2,22	2,32	1,76	2,46	1,96	2,05	3,90	2,78	5,72
Rzi	µm	2,73	3,47	3,00	2,42	2,50	1,92	2,57	2,19	2,52	4,24	3,03	6,05
RzJ	µm	3,93	4,76	3,50	3,47	2,96	2,24	2,61	2,69	3,09	4,68	4,94	6,25
RmD	µm	2,90	3,50	3,24	3,18	2,74	2,04	2,96	2,22	3,06	4,26	2,86	6,34
RmJ	µm	4,42	5,26	3,78	3,80	3,10	2,56	3,08	3,08	3,80	4,86	5,32	6,42
Rt	µm	2,90	3,86	3,56	3,18	2,82	2,12	2,96	2,36	3,08	4,74	3,20	6,34
Pc	cm	0027	0022	0010	0052	0037	0025	0032	0025	0022	0037	0037	0035
Rp	µm	1,04	1,62	1,08	1,30	1,14	0,84	1,06	1,08	0,98	3,12	1,84	4,48
Rpm	µm	0,79	0,82	0,74	0,98	0,87	0,72	0,88	0,91	0,85	2,49	1,62	4,06
Rq	µm	0,47	0,48	0,45	0,46	0,45	0,35	0,43	0,39	0,38	0,83	0,66	1,44
R3z	µm	1,62	1,76	1,44	1,73	1,66	1,38	1,56	1,53	1,31	2,63	2,18	4,42
Pt	µm	4,42	5,26	3,78	3,80	3,10	2,56	3,08	3,08	3,80	4,86	5,32	6,42
Sm	µm	363,6	444,4	344,6	190,4	266,6	400,0	307,6	400,0	444,4	266,6	266,6	285,7
Latão Nr°4 – ECOASB20-Z2.1 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,99	0,96	1,13	0,82	0,96	1,1	0,71	0,70	0,69	0,77	0,75	1,16
RzD	µm	6,24	6,39	6,84	5,07	5,49	7,07	4,38	4,81	4,52	5,51	5,96	5,43
Rzi	µm	6,53	6,97	7,16	5,50	6,19	7,70	5,93	5,09	4,97	6,22	8,24	5,88
RzJ	µm	7,40	8,80	10,03	7,20	7,36	10,08	6,55	6,18	6,93	7,56	9,09	7,94
RmD	µm	7,00	7,22	7,80	5,78	6,04	8,88	6,54	7,68	5,38	6,96	8,42	6,30
RmJ	µm	8,28	9,20	10,76	7,60	8,34	11,68	6,88	8,98	9,56	8,78	9,38	8,50
Rt	µm	7,62	8,20	8,34	6,56	6,62	9,08	6,54	7,90	6,08	7,74	8,84	6,88
Pc	cm	0117	0087	0105	0087	0097	0107	0057	0077	0072	0040	0040	0035
Rp	µm	3,76	3,84	3,62	2,50	2,82	3,80	3,14	4,92	2,76	3,30	3,96	4,14
Rpm	µm	2,66	2,66	2,93	2,02	2,40	3,45	1,66	2,50	1,78	2,80	2,90	3,54
Rq	µm	1,23	1,25	1,42	1,04	1,20	1,61	0,96	0,91	0,89	1,02	1,28	1,37
R3z	µm	4,05	4,22	4,82	3,51	4,29	5,32	2,80	2,96	3,00	2,31	3,28	3,20
Pt	µm	8,28	9,20	10,76	7,60	8,34	11,68	6,88	8,98	9,56	8,78	9,38	8,50
Sm	µm	85,10	114,2	95,23	114,2	102,5	93,02	173,9	129,0	137,9	250,0	250,0	285,7

Latão Nr°5 – ECOASB20-AA.2 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,34	0,33	0,35	0,36	0,41	0,41	0,33	0,32	0,30	0,71	0,67	1,21
RzD	µm	2,34	2,64	2,72	2,48	2,70	2,55	2,28	2,28	1,98	3,88	2,42	5,86
Rzi	µm	2,58	2,91	3,10	2,59	3,00	3,00	2,38	2,46	2,48	4,18	2,73	6,31
RzJ	µm	3,31	3,68	3,70	2,96	3,16	3,46	3,21	2,86	2,47	4,98	3,33	7,43
RmD	µm	2,58	4,00	3,36	2,84	3,00	3,34	3,06	3,04	2,38	4,48	2,90	6,56
RmJ	µm	3,62	4,26	4,14	3,40	3,50	3,92	4,00	3,10	2,70	5,72	3,92	7,94
Rt	µm	2,74	4,00	3,64	2,98	3,34	3,42	3,06	3,38	2,80	4,60	3,16	6,56
Pc	cm	0030	0017	0022	0037	0035	0045	0032	0025	0020	0040	0040	0035
Rp	µm	1,00	1,22	1,34	1,10	1,38	1,28	1,00	1,32	1,38	2,86	1,56	4,54
Rpm	µm	0,78	0,84	0,97	0,97	1,00	0,95	0,96	0,92	0,94	2,47	1,28	4,05
Rq	µm	0,44	0,46	0,46	0,46	0,53	0,52	0,41	0,42	0,38	0,89	0,62	1,50
R3z	µm	1,72	1,72	1,52	1,72	2,00	1,95	1,52	1,53	1,46	2,80	1,90	3,01
Pt	µm	3,62	4,26	4,14	3,40	3,50	3,92	4,00	3,10	2,70	5,72	3,92	7,94
Sm	µm	333,3	571,4	444,4	266,6	285,7	222,2	307,6	400,0	500,0	250,0	250,0	285,7
Latão Nr°5 – ECOASB20-AA.2 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,30	0,27	0,18	0,25	0,22	0,19	0,31	0,29	0,22	0,75	0,67	1,39
RzD	µm	1,76	1,84	1,07	2,02	1,71	1,51	1,73	1,69	1,28	3,66	3,10	6,24
Rzi	µm	2,37	2,16	1,12	2,22	1,99	1,80	1,91	1,87	1,48	3,92	3,30	6,52
RzJ	µm	3,80	3,27	1,50	2,72	2,22	2,41	2,38	2,64	1,99	4,32	3,60	7,00
RmD	µm	2,62	2,08	1,18	2,38	2,36	2,00	2,00	2,28	1,56	4,06	3,52	6,54
RmJ	µm	4,32	3,58	1,72	2,88	2,80	2,88	2,56	3,10	2,18	4,52	3,92	7,54
Rt	µm	2,70	2,44	1,32	2,50	2,58	2,02	2,08	2,36	1,56	4,36	3,64	6,84
Pc	cm	0012	0015	0007	0015	0012	0015	0020	0017	0015	0042	0040	0035
Rp	µm	1,06	1,04	0,60	0,82	0,80	0,74	1,10	0,96	0,74	2,84	2,16	4,68
Rpm	µm	0,64	0,81	0,52	0,76	0,64	0,58	0,91	0,81	0,60	2,40	1,85	4,34
Rq	µm	0,40	0,35	0,22	0,33	0,29	0,26	0,39	0,36	0,28	0,92	0,79	1,72
R3z	µm	1,26	1,18	0,80	1,23	1,10	0,93	1,33	1,11	1,00	3,08	2,38	3,14
Pt	µm	4,32	3,58	1,72	2,88	2,80	2,88	2,56	3,10	2,18	4,52	3,92	7,54
Sm	µm	144,6	11,30	22,61	11,30	144,6	11,30	500,0	571,4	11,30	235,2	250,0	285,7
Latão Nr°5 – ECOASB20-AA.2 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,03			0,06			0,12			0,24		
Vc [m/min]		60	90	130	60	90	130	60	90	130	60	90	130
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,85	0,84	0,82	0,82	0,86	0,84	0,88	0,87	0,85	0,80	0,80	1,40
RzD	µm	4,70	4,70	4,75	4,43	5,08	4,64	5,49	5,03	5,73	5,12	6,06	5,07
Rzi	µm	5,44	5,14	5,24	5,42	5,65	5,15	5,82	5,66	6,59	5,94	7,81	5,35
RzJ	µm	6,72	8,40	8,70	8,35	7,41	8,06	6,81	5,76	7,95	6,29	10,58	6,50
RmD	µm	6,54	5,48	5,78	5,48	7,04	5,60	6,88	6,16	7,10	7,00	7,68	6,16
RmJ	µm	7,46	9,16	9,20	8,88	9,18	8,64	7,50	6,64	8,96	6,86	11,08	7,56
Rt	µm	6,54	5,96	6,08	5,78	7,04	6,36	7,46	6,16	7,86	7,00	8,42	6,16
Pc	cm	0085	0075	0100	0080	0100	0112	0075	0085	0070	0042	0045	0035
Rp	µm	2,74	2,40	2,48	3,04	2,66	3,10	2,62	2,84	2,70	3,40	4,00	3,48
Rpm	µm	1,92	1,80	1,90	2,01	2,09	2,18	2,00	2,07	2,03	2,32	2,60	3,30
Rq	µm	1,08	1,04	1,02	1,01	1,08	1,04	1,13	1,11	1,14	1,06	1,40	1,29
R3z	µm	3,90	3,77	3,45	3,49	3,63	3,58	3,64	3,74	3,35	2,78	3,62	3,22
Pt	µm	7,46	9,16	9,20	8,88	9,18	8,64	7,50	6,64	8,96	6,86	11,08	7,56
Sm	µm	117,6	133,3	100,0	125,0	100,0	88,88	133,3	117,6	142,8	235,2	222,2	285,7

Anexo 5 - Parâmetros de Rugosidade da Furação

Latão Nr°1 - CuZn39Pb3 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,46	0,45	0,56	0,97	1,06	1,16	1,48	1,37	1,54	1,34	1,58	1,05
RzD	µm	2,96	3,12	4,78	6,26	6,41	6,55	8,36	7,67	7,82	7,96	8,88	6,12
Rzi	µm	3,22	3,71	5,41	6,47	7,06	7,21	9,62	9,00	9,09	9,14	10,18	7,22
RzJ	µm	4,65	8,35	5,33	7,44	7,43	7,14	11,04	11,40	11,11	10,92	10,61	7,96
RmD	µm	3,64	3,84	6,26	7,66	7,42	7,68	10,64	8,82	8,86	10,02	10,62	7,80
RmJ	µm	5,50	9,76	6,04	8,32	7,72	8,74	12,84	11,96	12,54	11,94	11,42	9,14
Rt	µm	3,82	4,06	4,64	8,26	7,44	8,12	10,82	10,52	9,76	10,76	10,42	7,80
Pc	cm	0127	0067	0122	0085	0100	0120	0055	0065	0075	0045	0057	0070
Rp	µm	1,32	1,34	1,84	2,10	2,66	2,98	4,46	5,38	3,94	4,26	5,08	3,32
Rpm	µm	1,06	0,97	1,53	1,71	2,36	2,41	3,52	3,27	3,18	3,48	4,13	2,32
Rq	µm	0,57	0,59	0,77	1,27	1,38	1,43	1,88	1,65	1,90	1,72	1,98	1,35
R3z	µm	2,18	2,16	3,14	3,97	4,76	5,08	5,00	5,10	5,57	4,81	5,27	4,10
Pt	µm	5,50	5,16	6,04	8,32	7,72	8,74	12,84	11,96	12,54	11,94	11,42	9,14
Sm	µm	78,43	148,1	81,63	117	100,0	83,33	181,8	153,8	133,3	222,2	173,9	142,8

Latão Nr°1 - CuZn39Pb3 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,2	1,32	0,98	1,4	1,31	1,25	1,56	1,29	1,62	1,94	1,75	1,65
RzD	µm	7,2	7,12	6,35	9,29	8,00	7,09	9,68	7,70	9,06	10,20	9,37	9,40
Rzi	µm	9,80	9,37	8,06	13,68	13,64	12,97	11,56	8,15	9,88	11,39	12,16	10,47
RzJ	µm	14,86	9,28	14,02	15,71	16,15	18,27	11,44	13,80	13,93	15,06	15,22	10,10
RmD	µm	11,38	10,08	8,84	14,30	14,16	14,84	11,04	9,66	9,84	12,24	12,00	11,78
RmJ	µm	16,50	10,24	14,98	16,48	17,74	20,62	11,88	14,42	15,28	15,48	16,02	11,62
Rt	µm	10,3	10,38	9,16	11,32	10,64	11,86	12,42	12,02	11,22	12,24	14,22	12,52
Pc	cm	0070	0115	0087	0110	0087	0082	0072	0067	0072	0060	0067	0047
Rp	µm	4,72	5,88	4,80	7,98	7,14	7,20	4,94	3,34	4,88	6,02	7,72	5,00
Rpm	µm	3,32	4,05	3,01	5,13	4,68	5,18	3,82	3,00	3,88	4,62	4,36	4,22
Rq	µm	1,86	1,70	1,31	2,81	2,81	2,77	2,06	1,63	2,00	2,42	2,22	2,06
R3z	µm	5,28	5,84	4,08	8,77	8,40	8,52	6,58	5,68	6,67	6,37	6,30	5,42
Pt	µm	10,21	10,24	12,98	11,15	12,76	15,09	11,88	14,42	15,28	15,48	16,02	11,62
Sm	µm	142,8	86,95	114,2	90,90	114,2	121,2	137,9	148,1	137,9	166,6	148,1	210,5

Latão Nr°1 - CuZn39Pb3 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,25	1,70	2,23	2,68	2,32	2,89	2,81	3,47	3,26	3,34	3,28	3,45
RzD	µm	8,25	9,30	13,22	12,29	10,60	9,28	11,94	16,55	23,06	16,06	16,37	18,66
Rzi	µm	8,58	11,80	15,68	13,23	9,50	10,83	15,02	17,69	23,89	18,38	18,44	20,47
RzJ	µm	8,44	15,70	17,95	16,41	13,64	12,38	19,12	23,71	26,37	19,00	21,32	21,58
RmD	µm	8,72	13,46	17,72	13,80	10,30	11,86	17,16	18,80	24,64	19,62	20,98	23,46
RmJ	µm	9,58	16,10	21,28	18,52	14,86	13,40	20,56	26,06	27,06	19,72	24,50	24,38
Rt	µm	10,5	13,46	17,72	15,68	14,16	15,36	17,88	21,56	26,88	19,62	20,98	23,46
Pc	cm	0085	0090	0117	0082	0112	0065	0060	0052	0050	0042	0037	0037
Rp	µm	4,56	5,90	7,50	6,42	4,90	3,96	9,06	10,72	13,22	8,90	9,26	8,70
Rpm	µm	3,26	4,27	5,95	5,16	3,81	3,59	5,95	7,82	12,54	7,24	7,77	7,12
Rq	µm	1,57	2,16	2,91	3,16	1,76	1,90	2,70	4,13	6,23	4,08	4,00	4,41
R3z	µm	5,14	6,64	9,25	10,03	6,18	5,65	6,55	10,74	16,79	8,15	6,31	6,29
Pt	µm	9,58	16,10	21,28	18,52	14,86	13,40	18,86	20,06	19,72	19,3	24,50	24,38
Sm	µm	117,6	111,1	85,10	121,2	88,88	153,8	166,6	190,4	200,0	235,2	266,6	266,6

Latão Nr°2 – CuZn40Pb2 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC						RC					
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,61	0,71	0,90	0,96	1,16	1,37	1,06	1,64	1,66	2,01	1,95	2,18
RzD	µm	4,19	4,20	5,87	5,20	7,32	8,46	6,53	8,54	9,14	9,76	10,80	12,85
Rzi	µm	4,65	4,64	6,17	5,73	7,71	9,34	7,18	9,50	9,72	10,59	12,48	15,25
RzJ	µm	5,42	5,57	7,03	7,42	8,80	10,18	11,73	11,27	12,63	14,63	13,66	16,76
RmD	µm	5,20	4,82	7,16	6,14	9,06	9,06	8,68	9,46	11,72	11,70	14,34	16,30
RmJ	µm	6,74	6,76	7,94	8,14	10,44	11,22	12,22	12,72	13,56	15,70	15,34	17,92
Rt	µm	6,08	4,90	7,24	6,14	10,10	9,94	8,68	10,08	11,72	11,90	14,34	16,30
Pc	cm	0090	0110	0120	0087	0077	0080	0072	0062	0067	0045	0050	0052
Rp	µm	2,08	1,92	3,22	2,62	3,32	4,62	3,86	4,74	5,82	4,88	6,12	7,42
Rpm	µm	1,57	1,62	2,16	2,14	2,57	3,56	2,64	3,89	4,46	4,22	4,91	5,87
Rq	µm	0,79	0,90	1,14	1,18	1,45	1,70	1,37	2,01	2,04	2,44	2,51	2,77
R3z	µm	2,66	3,59	4,04	4,19	4,64	5,34	4,17	6,71	6,19	6,71	6,01	5,96
Pt	µm	6,74	6,76	7,94	8,14	10,44	11,22	12,22	12,72	13,56	15,70	15,34	17,92
Sm	µm	111,1	90,90	83,33	114,2	129,0	125,0	137,9	160,0	148,1	222,2	200,0	190,4

Latão Nr°2 – CuZn40Pb2 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC						RC					
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,36	1,40	1,80	1,64	1,74	1,96	1,79	1,83	2,53	1,71	2,35	2,20
RzD	µm	8,05	8,91	9,93	8,62	10,36	10,42	9,84	10,29	11,94	9,74	13,12	11,26
Rzi	µm	8,87	9,72	11,40	9,04	11,46	11,33	11,10	11,31	13,54	11,43	14,72	12,97
RzJ	µm	9,46	11,15	14,51	12,43	13,50	15,00	13,25	14,43	14,54	15,11	17,50	14,75
RmD	µm	9,48	10,62	14,56	10,98	13,08	11,688	11,90	12,04	14,46	12,76	17,16	15,18
RmJ	µm	10,20	13,46	17,24	13,10	15,32	17,06	13,82	15,12	14,88	16,56	18,26	15,90
Rt	µm	10,78	11,66	14,56	10,98	13,08	12,68	15,20	13,42	14,48	16,56	17,16	16,10
Pc	cm	0100	0075	0092	0087	0085	0067	0065	0062	0055	0067	0055	0050
Rp	µm	4,04	5,34	5,98	5,16	6,62	5,44	6,90	7,36	6,84	9,36	8,06	5,68
Rpm	µm	3,22	3,91	4,49	3,77	5,06	4,66	4,92	5,28	6,03	4,78	5,71	4,70
Rq	µm	1,71	1,77	2,27	2,03	2,21	2,38	2,25	2,31	3,06	2,13	2,96	2,69
R3z	µm	5,78	5,47	7,32	6,22	6,64	7,17	6,11	6,59	8,22	5,58	7,71	6,86
Pt	µm	10,20	13,46	17,24	13,10	15,32	17,06	13,82	15,12	14,88	16,56	18,26	15,90
Sm	µm	100,0	133,3	108,1	114,2	117,6	148,1	153,8	160,0	181,8	148,1	181,8	200,0

Latão Nr°2 – CuZn40Pb2 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC						RC					
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,97	2,03	1,93	2,10	2,93	2,46	2,73	3,11	2,9	5,03	4,39	4,38
RzD	µm	12,17	11,51	11,72	10,97	16,45	12,48	8,59	16,68	19,19	21,94	20,38	17,78
Rzi	µm	16,24	13,75	14,40	12,41	18,82	18,23	10,46	17,46	20,59	23,55	21,44	19,49
RzJ	µm	16,98	15,98	19,83	14,71	18,43	28,42	12,81	22,11	23,66	24,40	26,60	23,09
RmD	µm	18,86	15,38	16,08	15,30	20,76	18,88	10,20	17,70	21,46	24,48	24,92	20,66
RmJ	µm	20,02	19,70	23,10	16,38	21,22	29,88	13,80	25,24	27,68	26,12	29,18	27,92
Rt	µm	19,36	15,38	16,08	15,30	21,26	22,84	12,08	20,14	22,50	26,08	24,92	21,52
Pc	cm	0045	0062	0037	0065	0060	0052	0062	0060	0047	0045	0037	0042
Rp	µm	9,36	6,62	8,666	6,00	11,06	10,12	4,92	11,22	11,50	12,34	14,82	9,66
Rpm	µm	6,97	4,83	6,14	5,15	8,77	5,40	3,76	9,19	10,36	10,33	11,74	8,58
Rq	µm	2,72	2,59	2,53	2,62	3,70	3,20	2,14	3,82	5,18	5,97	5,31	3,79
R3z	µm	5,01	6,29	6,02	7,20	8,47	8,34	5,61	7,57	13,07	11,05	8,47	6,36
Pt	µm	20,02	19,70	23,10	16,38	21,32	29,88	13,80	25,24	27,68	26,12	29,18	27,92
Sm	µm	222,2	160,0	266,6	153,8	166,6	190,4	160,0	166,6	210,5	222,2	266,6	235,2

Latão Nr°3 - ECOASB20-AB2.1 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,39	0,24	0,24	0,34	0,40	0,24	0,39	0,30	0,41	0,59	0,54	0,27
RzD	µm	2,22	1,62	2,67	1,70	2,58	1,60	1,90	1,30	3,48	4,20	5,03	1,50
Rzi	µm	2,78	2,23	2,81	2,87	2,86	2,35	3,54	2,24	3,98	5,28	6,08	2,57
RzJ	µm	8,74	10,38	5,08	6,88	7,84	5,55	12,75	11,26	7,07	9,09	15,32	9,66
RmD	µm	3,06	2,46	3,40	2,70	3,84	2,46	2,62	1,98	4,10	7,40	6,52	3,00
RmJ	µm	10,02	11,64	6,24	7,00	8,80	6,12	13,08	11,46	7,36	10,02	16,98	9,92
Rt	µm	3,06	2,80	3,44	3,36	3,98	3,12	4,18	2,40	4,20	7,40	6,78	3,00
Pc	cm	0015	0005	0010	0010	0032	0010	0005	0005	0040	0020	0030	0007
Rp	µm	1,02	0,82	0,60	0,96	0,88	1,26	1,80	0,68	1,04	2,42	3,04	0,76
Rpm	µm	0,79	0,48	0,48	0,44	0,66	0,57	0,70	0,44	0,85	1,87	1,90	0,51
Rq	µm	0,52	0,38	0,35	0,51	0,53	0,34	0,54	0,42	0,61	0,82	0,80	0,39
R3z	µm	1,58	1,05	1,37	1,04	1,60	1,04	1,07	0,94	2,32	3,32	2,21	0,80
Pt	µm	10,02	11,64	6,24	8,01	8,84	6,12	13,08	11,46	7,36	10,02	16,98	9,92
Sm	µm	11,30	33,92	344,6	344,6	307,6	344,6	33,92	33,92	250,0	500,0	333,3	22,61

Latão Nr°3 - ECOASB20-AB2.1 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,96	1,30	1,23	0,98	1,11	0,80	1,45	1,1	0,92	1,01	0,97	1,02
RzD	µm	5,85	6,14	5,41	7,06	6,76	5,19	8,24	6,3	10,36	6,99	5,66	6,54
Rzi	µm	6,74	8,64	10,19	8,54	7,78	8,66	9,54	13,34	11,50	7,40	6,13	8,16
RzJ	µm	9,64	10,76	11,61	13,67	10,80	11,06	12,26	24,61	14,62	14,47	15,30	13,95
RmD	µm	7,12	8,94	8,88	11,90	7,80	10,94	9,82	14,86	11,94	7,46	7,84	8,48
RmJ	µm	10,20	12,18	12,54	15,30	12,22	11,64	13,86	24,88	15,74	15,06	18,26	16,30
Rt	µm	7,44	9,90	10,62	8,55	9,60	9,94	10,34	11,08	12,08	8,04	7,84	8,48
Pc	cm	0055	0080	0082	0050	0085	0052	0085	0060	0072	0060	0060	0047
Rp	µm	3,32	4,06	5,36	4,56	3,78	5,16	4,10	6,08	5,18	3,08	2,08	3,74
Rpm	µm	2,40	3,02	3,73	2,64	2,58	1,79	3,31	4,94	4,51	2,22	1,96	2,34
Rq	µm	1,26	1,66	1,69	1,42	1,46	1,27	1,83	3,28	2,56	1,34	1,27	1,43
R3z	µm	3,86	5,58	4,08	3,27	3,94	3,50	5,39	8,78	7,93	3,08	3,93	4,40
Pt	µm	10,20	12,18	12,54	15,30	12,32	11,54	13,86	16,85	15,74	15,06	18,26	16,30
Sm	µm	181,0	125,0	121,2	200,0	117,6	190,4	117,6	166,6	137,9	166,6	166,6	210,5

Latão Nr°3 - ECOASB20-AB2.1 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,65	1,64	1,62	1,99	1,61	1,55	3,12	2,97	2,28	4,87	3,88	3,37
RzD	µm	9,12	8,58	8,60	13,56	9,67	7,79	14,23	13,18	9,26	10,33	14,28	15,96
Rzi	µm	20,79	11,35	9,21	11,58	10,24	9,09	19,45	14,52	10,00	10,92	15,32	17,08
RzJ	µm	36,62	13,86	11,38	23,90	11,91	12,85	21,35	15,69	15,29	14,90	18,51	21,55
RmD	µm	24,18	10,98	9,38	11,10	11,72	9,36	19,70	14,98	10,54	11,42	16,12	19,08
RmJ	µm	35,10	15,12	12,98	25,88	13,18	15,92	23,60	18,96	17,66	16,46	19,50	22,68
Rt	µm	24,18	12,10	10,24	22,50	12,38	11,46	21,76	15,84	11,08	12,24	16,42	20,54
Pc	cm	0025	0042	0047	0050	0080	0057	0052	0050	0052	0047	0037	0030
Rp	µm	8,96	5,66	4,34	4,86	4,98	4,48	12,14	8,90	5,88	6,56	7,50	8,04
Rpm	µm	7,25	3,98	3,70	3,34	4,23	3,69	9,46	7,84	4,94	5,19	6,53	6,24
Rq	µm	4,30	2,18	1,98	2,19	2,04	1,92	5,50	3,58	2,64	2,43	3,54	4,14
R3z	µm	4,22	3,72	5,92	4,88	5,83	5,97	14,83	9,44	7,21	6,44	5,16	4,86
Pt	µm	34,1	15,12	12,98	25,88	17,27	15,92	23,60	18,96	17,66	16,46	19,50	22,68
Sm	µm	400,0	235,2	210,5	200,0	125,0	173,9	190,4	200,0	190,4	210,5	266,6	333,3


Latão Nr°4 - ECOASB20-Z2.1 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,32	0,30	0,39	0,40	0,37	0,38	0,44	0,45	0,33	0,27	0,50	0,40
RzD	µm	1,87	1,59	2,30	2,60	2,29	2,85	3,25	3,43	2,26	2,04	3,96	2,77
Rzi	µm	2,16	2,14	2,70	3,02	2,39	3,21	4,04	4,29	3,66	4,32	5,09	4,44
RzJ	µm	7,64	5,53	6,78	7,11	7,52	5,27	6,84	6,17	9,18	7,39	12,75	8,26
RmD	µm	2,10	2,16	2,86	3,28	2,52	3,66	3,76	4,62	4,46	6,00	5,68	5,06
RmJ	µm	8,40	6,12	7,06	7,84	7,88	5,66	7,42	6,52	10,36	10,30	13,86	9,30
Rt	µm	2,30	2,24	2,94	3,56	2,72	3,84	4,64	4,76	4,46	6,00	5,72	5,06
Pc	cm	0015	0012	0015	0030	0032	0037	0027	0020	0010	0005	0030	0015
Rp	µm	0,74	0,96	1,00	1,06	0,94	1,00	2,04	1,76	1,18	1,90	1,60	2,16
Rpm	µm	0,54	0,52	0,62	0,70	0,74	0,73	1,50	1,22	0,68	0,74	1,24	1,11
Rq	µm	0,39	0,40	0,50	0,52	0,46	0,52	0,59	0,64	0,49	0,48	0,72	0,56
R3z	µm	1,43	1,29	1,66	1,84	1,69	1,96	1,88	1,95	1,20	1,50	1,88	1,64
Pt	µm	8,40	6,12	7,06	7,84	7,88	5,66	7,42	6,52	10,36	10,30	13,86	9,30
Sm	µm	11,30	144,6	11,30	333,3	307,6	266,6	363,6	500,0	344,6	33,92	333,3	11,30

Latão Nr°4 - ECOASB20-Z2.1 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,14	0,97	0,90	1,38	1,43	0,81	1,64	1,80	1,09	1,09	1,19	0,82
RzD	µm	5,83	5,22	5,12	7,76	8,61	5,31	9,42	11,38	6,06	5,74	6,10	5,20
Rzi	µm	7,22	5,58	5,74	9,26	9,50	6,11	10,52	12,81	6,44	6,59	7,35	6,10
RzJ	µm	12,60	6,97	15,38	10,70	9,31	6,67	12,54	15,03	9,20	9,36	13,69	11,86
RmD	µm	8,24	5,94	5,80	9,80	11,08	6,64	11,12	13,42	8,26	7,50	8,02	7,16
RmJ	µm	13,52	7,78	17,44	12,18	10,50	7,76	13,96	16,10	11,50	10,62	14,52	13,34
Rt	µm	8,26	5,94	6,32	10,48	11,08	6,74	11,68	13,48	8,34	7,50	8,02	7,16
Pc	cm	0142	0140	0072	0062	0072	0067	0067	0047	0057	0055	0067	0057
Rp	µm	4,22	2,52	3,22	4,78	5,36	2,14	5,52	5,20	2,36	3,54	4,00	2,44
Rpm	µm	2,85	2,30	2,43	3,64	3,94	1,70	4,56	4,18	2,01	2,83	2,74	1,78
Rq	µm	1,40	1,18	1,14	1,84	1,80	1,09	2,04	2,97	1,35	1,34	1,47	1,10
R3z	µm	4,57	4,04	3,84	5,18	5,24	3,56	5,92	7,85	4,05	3,66	4,64	3,30
Pt	µm	13,52	7,78	17,44	12,18	10,50	7,76	13,96	16,10	11,50	10,62	14,52	13,34
Sm	µm	70,17	71,42	137,9	160,0	137,9	148,1	148,1	210,5	173,9	181,8	148,1	173,9

Latão Nr°4 - ECOASB20-Z2.1 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,31	1,46	1,23	2,06	1,78	1,35	2,63	3,02	1,98	3,21	2,85	1,86
RzD	µm	8,20	7,21	4,74	10,10	9,45	7,12	12,17	13,57	11,17	16,20	14,30	10,16
Rzi	µm	9,55	8,54	5,13	10,89	11,78	9,66	13,05	14,47	14,76	16,95	15,87	10,84
RzJ	µm	15,90	21,06	8,95	17,58	12,05	13,59	15,46	16,54	20,22	20,09	19,88	15,26
RmD	µm	10,58	8,78	6,28	11,80	12,96	10,64	13,06	15,32	17,32	17,92	18,52	10,82
RmJ	µm	18,40	25,78	10,46	18,76	12,48	15,02	16,48	17,46	22,90	21,44	22,26	21,78
Rt	µm	10,58	9,68	6,28	12,66	14,14	11,70	14,24	15,32	17,32	19,40	18,84	11,34
Pc	cm	0055	0040	0060	0062	0060	0055	0052	0052	0050	0040	0032	0032
Rp	µm	5,60	4,72	2,38	4,46	8,46	5,32	6,84	8,54	9,52	8,56	8,96	4,48
Rpm	µm	4,21	3,62	1,84	3,75	4,66	3,34	5,78	7,32	5,44	7,46	6,94	3,82
Rq	µm	1,71	1,80	0,92	2,49	2,30	1,76	3,13	3,56	2,59	3,84	3,48	2,45
R3z	µm	4,20	4,73	2,77	6,49	4,58	4,58	8,41	8,84	5,48	6,50	8,22	5,09
Pt	µm	18,40	25,78	10,46	18,76	12,48	15,02	16,48	17,46	22,90	21,44	22,26	21,78
Sm	µm	181,8	250,0	166,6	160,0	166,6	181,8	190,4	190,4	200,0	250,0	307,6	307,6

Latão Nr°5 - ECOASB20-AA.2 (LA)													
Amostra		1						2					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,30	0,32	0,33	0,41	0,47	0,46	0,34	0,34	0,41	0,51	0,65	0,53
RzD	µm	2,05	1,97	2,41	1,95	3,04	3,02	3,16	2,30	3,51	4,04	5,60	3,40
Rzi	µm	2,40	2,32	2,83	2,54	3,56	3,33	3,94	3,78	3,97	6,18	9,25	4,63
RzJ	µm	5,22	7,56	6,70	8,22	6,76	5,55	8,91	7,25	8,47	7,10	12,22	10,31
RmD	µm	2,30	2,16	2,90	2,42	4,08	3,44	4,60	4,28	4,56	8,42	10,00	5,70
RmJ	µm	5,68	8,38	7,50	8,74	8,04	6,30	9,02	7,92	9,48	7,48	13,62	11,34
Rt	µm	2,58	2,56	3,40	2,70	4,08	3,48	5,04	4,36	5,06	8,42	10,02	6,44
Pc	cm	0005	0017	0017	0012	0040	0042	0010	0027	0045	0027	0025	0015
Rp	µm	0,80	0,74	0,96	0,84	1,36	1,08	0,82	1,36	1,28	3,14	4,24	1,92
Rpm	µm	0,52	0,48	0,70	262,6	1,02	0,96	0,51	0,86	0,90	1,56	1,84	1,04
Rq	µm	0,41	0,42	0,45	0,54	0,62	0,61	0,51	0,53	0,59	0,79	1,14	0,69
R3z	µm	1,44	1,44	1,75	1,10	2,16	2,06	1,21	1,64	1,86	1,96	2,08	1,09
Pt	µm	5,68	8,38	7,50	8,74	8,04	6,30	9,02	7,96	9,48	7,48	13,62	11,34
Sm	µm	33,92	571,4	571,4	144,6	250,0	235,2	344,6	363,6	222,2	363,6	400,0	11,30
Latão Nr°5 - ECOASB20-AA.2 (MQL)													
Amostra		3						4					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	0,73	0,86	0,61	0,84	0,66	0,51	0,83	0,67	0,68	1,14	0,70	0,82
RzD	µm	4,76	7,03	6,48	4,93	4,13	3,29	5,48	4,06	4,10	6,87	4,68	6,20
Rzi	µm	5,67	8,62	7,68	6,27	5,46	4,52	7,27	5,60	4,99	8,57	5,84	7,43
RzJ	µm	8,42	11,70	12,61	8,68	11,16	7,91	12,52	15,28	10,85	12,02	16,89	10,12
RmD	µm	6,14	8,78	8,52	6,60	7,16	4,36	8,72	4,66	4,72	9,90	6,18	13,26
RmJ	µm	9,64	14,16	14,36	9,28	11,70	8,84	12,94	17,58	11,84	12,44	18,74	10,90
Rt	µm	6,26	9,36	8,52	6,60	7,16	5,14	8,72	6,40	5,82	9,90	8,24	12,26
Pc	cm	0092	0052	0110	0077	0072	0060	0067	0057	0072	0062	0032	0065
Rp	µm	2,34	3,72	4,36	2,02	2,30	2,12	3,94	2,18	2,62	4,02	3,04	2,86
Rpm	µm	1,65	2,68	3,07	1,76	1,32	1,27	2,26	1,28	1,72	2,91	1,83	1,87
Rq	µm	0,99	1,27	1,52	1,14	0,90	0,73	1,16	0,91	0,87	1,55	0,97	1,25
R3z	µm	3,22	3,26	5,10	3,84	2,96	2,60	3,75	2,85	2,86	3,52	2,60	3,05
Pt	µm	9,64	14,16	14,36	9,28	11,70	8,84	12,94	17,58	11,84	12,44	19,62	10,90
Sm	µm	108,1	190,4	90,90	129,0	137,9	166,6	148,1	173,9	137,9	160,0	307,6	153,8
Latão Nr°5 - ECOASB20-AA.2 (Seco)													
Amostra		5						6					
f [mm/rot]		0,05			0,10			0,20			0,40		
Vc [m/min]		50	80	110	50	80	110	50	80	110	50	80	110
Filtro		RC			RC			RC			RC		
Lt	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
Lc	mm	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Mb	µm	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Ra	µm	1,22	1,12	1,26	1,13	1,46	1,75	3,02	2,09	1,94	3,48	2,27	1,92
RzD	µm	7,27	12,56	7,69	7,01	7,72	8,49	14,25	12,12	8,46	15,35	11,80	12,58
Rzi	µm	9,77	15,38	9,41	9,02	8,97	10,54	15,93	13,53	8,88	17,34	12,16	21,76
RzJ	µm	14,23	17,50	13,64	11,95	19,20	15,58	21,42	21,33	11,76	23,71	14,70	33,34
RmD	µm	10,40	17,36	11,78	10,98	10,00	10,00	15,84	14,10	9,28	17,60	12,70	28,10
RmJ	µm	14,76	22,78	15,48	14,56	19,86	16,44	25,24	23,60	12,74	27,48	16,16	34,16
Rt	µm	11,36	17,42	11,78	10,98	10,86	11,82	19,26	14,18	9,36	19,24	13,14	28,10
Pc	cm	0042	0020	0035	0047	0077	0080	0050	0050	0055	0035	0047	0047
Rp	µm	4,46	6,64	4,62	3,52	5,02	5,92	9,72	7,50	4,12	10,16	7,78	16,86
Rpm	µm	2,94	5,08	3,16	2,50	3,79	4,30	7,44	6,31	3,55	8,26	7,03	7,27
Rq	µm	1,64	3,02	1,69	1,53	1,82	2,13	4,22	3,47	2,28	4,12	2,77	3,08
R3z	µm	3,47	7,56	4,23	3,66	5,25	6,08	11,08	9,39	6,36	8,98	6,28	4,79
Pt	µm	14,46	22,78	15,48	14,56	19,86	16,44	25,24	23,60	12,74	27,48	16,16	34,16
Sm	µm	235,2	500,0	285,7	210,5	129,0	125,0	200,0	200,0	181,8	285,7	210,5	210,5

Anexo 6 – Propriedades mecânicas dos latões ecológicos.

Alberto da Silva Barbosa & Filhos, Lda.		Capital Social € 4.987.987,97 (Soc. Quotas) Matric. C.R.C. do Porto N°18660 N° of Vat: P - 500013560			
Fábrica - FACTORY Rua de Sousanil,476 4525-100 Canêdo VFR Telef: + 351 - 22 - 763 70 40 Fax: + 351 - 22 - 763 02 25 E-mail: fabrica@asb.pt	IMPORT / EXPORT Produtor de Barras e Lingote de Latão Specialist in production of Copper Alloys Bars and Ingots	Sede - OFFICE Rua do Bonfim , 112 - 1º 4349-011 PORTO Telef: + 351 - 22 - 519 38 80 Fax: + 351 - 22 - 537 33 62 E-mail:a.s.barbosa@asb.pt			
ECOASB - LIGAS DE LATÃO SEM CHUMBO*					
Barras extrudidas, trefiladas ou estiradas					
Liga: ECOASB20					
Composição química	Propriedades físicas	Propriedades de fabrico		Outras propriedades	
%Cu 57,0 - 59,0	Condutividade eléctrica MS/m 13,9	Trabalho a quente excelente		Tempª de fusão 860 - 925 °C	
%Bi 0,6 - 0,7	%IACS 23,8	Trabalho a Frio bom		Tempª de estamp. 700 - 750 °C	
%Sn < 0,2	Condutividade térmica W/(m*K) 107	Maquinabilidade (ASTM E 618 - 07) 93%		Tempª de recoz. 530 - 700 °C	
%Ni < 0,2	Densidade g/Cm3 8,42	Electrodeposição excelente		Tempª para alívio de tensões internas 280 - 380 °C	
%Fe < 0,2	Módulo de elasticidade Gpa aprox. 102	Soldadura excelente			
%Pb < 0,1	Calor específico J/(g.K) 0,377	Polimento excelente			
%Al < 0,05					
%Zn resto					
% outros ** <0,2					
** (Se+Si+As+Sb+Cr+Cd+Zr+Ag+Nb)					
Propriedades mecânicas (valores em função da forma e dimensão)					
Valores de Refª ***		Gama de trabalho (barra redonda e poligonal)			
		5 - 12 mm	13 - 30 mm	31 - 65 mm	≥ 66 mm
Tensão de ruptura R _m	MPa	min. 500	min. 480	min. 450	min. 300
Tensão de cedência R _{p0,2}	MPa	min. 350	min. 320	min. 300	min. 200
Alongamento A	%	min. 10	min. 20	min. 25	min. 30
Tolerâncias: ao diâmetro das barras redondas e entre faces para poligonos regulares - Norma EN 12164 e EN 12165 ≥ 66 a 90mm directa da prensa de extrusão.					
Dureza *** aprox. HRB					
Barras para Etampagem		70	64	60	55
Barras para Maquinação		80	70	65	55
*** Norma EN 10002-1					
Aplicações típicas					
Componentes de precisão					
Resistência à corrosão					
Boa resistência à : água natural, neutra ou soluções alcalinas, compostos orgânicos.					
* De acordo com a <i>Environment Protection Agency (EPA), Safe Drinking Water Act (SDWA) - ANSI/NSF Standard 61 e Copper Development Association (CDA)</i>					

Anexo 7 – Ficha da composição dos latões ecológicos.

ALBERTO DA SILVA BARBOSA & FILHOS, LDA.
 Rua de Sousanil 476 - 4525-100VFR
 Tel.: 227637040 - Fax: 227630225
 E-mail: fabrica@asb.pt; m.ameiga@asb.pt

UNIVERSIDADE de AVEIRO

BIL – Ø250mm saída da Fundição
 Barra – Ø 22 em SA-Semiacabado- Saída da Extrusão
 Barra – Ø 22 em PA-Produto Acabado- Saída para o cliente

Liga		FOR-NO	%Cu	%Zn	%Al	%Pb	%Bi 0,55 - 0,70	%Si SEM SI 0,12-0,15	P (ppm)	B (ppm)	%Ti (Cu) 57,5-58,2	%Sn	%Fe	%Ni	%As	OBS Produção de Biletes /BARRA	Temp ^o Vazam. °C	Flui- dez (1095-9)	Pol- imento Indust.	Estu- tura Diatr. Fases α-β e grão	Diametro (mm)	HRB _F	Ensaio ^o Mecânicos Rm (N/mm ²)	A(%)	Prof. Dezificação(μ) <100		
BASE TORNEAR																											
ECOASB Ø 22 Barra Z2.1 TESTES MAF		2 1 BARRA NA	57,37	41,89	0,001	0,033	0,661	0,001	13,0	5,8	57,36	0,011	0,023	0,001	0,003	28.10.2009					22,99	59	503,62	28,48			
		2 BARRA APA	57,32	41,91	0,001	0,017	0,698	0,001	14,0	5,9	57,32	0,011	0,022	0,001	0,003	28.10.2009					21,99	72	503,62	28,48			
ECOASB Ø 22 Barra AA2 TESTES MAF		2 8 BARRA NA	58,77	40,40	0,001	0,023	0,619	0,134	31,0	5,6	58,08	0,014	0,012	0,007	0,004	Produção 13.10.2009	1.010				250						
		1 0 BARRA APA	58,76	40,36	0,001	0,104	0,600	0,132	29,0	5,4	58,07	0,014	0,015	0,004	0,004	21.10.2009					22,90	63					
		2 0 BARRA APA	58,71	40,41	0,001	0,073	0,617	0,137	29,0	5,4	58,00	0,014	0,015	0,001	0,004	28.10.2009					21,99	78-80	548,8	16,80			
ECOASB Ø 22 Barra AB2.1 TESTES MAF		2 0 BARRA NA	57,53	41,96	0,001	0,025	0,449	0,003	10,0	5,9	57,52	0,009	0,004	0,003	0,003	28.10.2009					22,88	59					
		2 0 BARRA APA	57,74	41,80	0,001	0,018	0,407	0,003	11,0	5,9	57,73	0,009	0,004	0,003	0,003	28.10.2009					21,99	72	523,62	30,45			

26.10.2009
 Revisão 3