

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Geológica

Relatório de Estágio

Uso de máquinas de Controlo Numérico Computorizado no setor das rochas ornamentais e otimização da produção na empresa Dimpomar

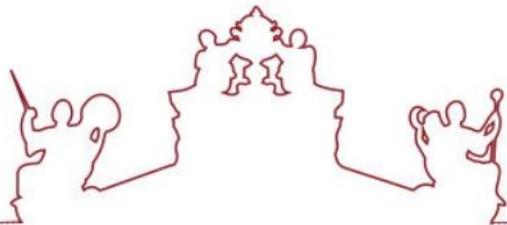
Nelson Alexandre Pinto Amaro

Orientador(es) | Ruben Sílvio Martins

Luís Lopes

Paulo Jorge Ramalho Carraça

Évora 2025



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Geológica

Relatório de Estágio

**Uso de máquinas de Controlo Numérico Computorizado no
setor das rochas ornamentais e otimização da produção na
empresa Dimpomar**

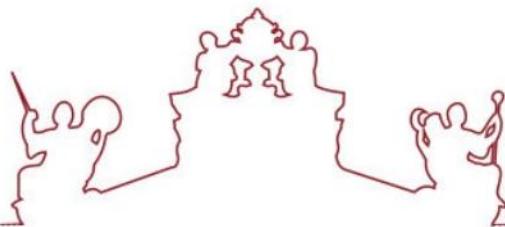
Nelson Alexandre Pinto Amaro

Orientador(es) | Ruben Sílvio Martins

Luís Lopes

Paulo Jorge Ramalho Carraça

Évora 2025



O relatório de estágio foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | António Bastos de Pinho (Universidade de Évora)

Vogais | Joaquim António dos Reis Silva Simão (Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia) (Arguente)
Ruben Sílvio Martins (Universidade de Évora) (Orientador)

Agradecimentos

A realização deste relatório de estágio representa o culminar de uma etapa significativa do meu percurso académico e profissional. A concretização deste trabalho apenas foi possível graças ao contributo, apoio e incentivo de diversas pessoas e instituições, às quais manifesto o meu mais profundo reconhecimento.

À empresa Dimpomar, onde decorreu o estágio e que é também a minha entidade empregadora, agradeço a oportunidade de conciliar a experiência profissional com o percurso académico, permitindo desenvolver este trabalho em contexto real.

Manifesto a minha profunda gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Rúben Martins, e ao meu coorientador, Professor Doutor Luís Lopes, pela orientação científica, disponibilidade e pelos valiosos contributos ao longo de todo o processo de elaboração deste relatório. Dirijo igualmente um agradecimento especial ao Engenheiro Paulo Carraça, meu orientador na empresa, pelo acompanhamento próximo, pela partilha de conhecimentos técnicos e pela constante disponibilidade para apoiar o desenvolvimento deste estágio.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço a colaboração, o espírito de entreajuda e a prontidão com que esclareceram as minhas dúvidas, tornando este percurso mais enriquecedor.

Aos meus colegas de mestrado, agradeço a relação de proximidade, o companheirismo e as trocas de experiências, elementos que enriqueceram o meu percurso académico.

À minha família, endereço o mais profundo reconhecimento pelo apoio incondicional e pelo incentivo constante ao longo de todo este processo. Um agradecimento muito especial é devido à minha irmã, pelo contributo na edição de algumas figuras, apoio de particular importância para a finalização deste relatório.

Finalmente, expresso também a minha sincera gratidão aos meus amigos, pelo incentivo, pela compreensão e pela motivação que sempre me transmitiram.

A todos, o meu mais sentido obrigado!

Resumo

Uso de máquinas de Controlo Numérico Computorizado no setor das rochas ornamentais e otimização da produção na empresa Dimpomar

Este relatório apresenta o estágio realizado na empresa Dimpomar, dedicado à área de produção com recurso a máquinas CNC. Após um enquadramento inicial e caracterização da empresa, é descrito o processo produtivo de transformação de rochas ornamentais da empresa e os equipamentos utilizados.

São apresentadas as máquinas, as suas características principais e explicados os princípios de funcionamento.

O relatório detalha as principais tarefas desenvolvidas durante o estágio, incluindo a programação e operação de máquinas CNC, a coordenação dos trabalhos afetos a esta área e a interação com a equipa técnica do fabricante.

Palavras-chave: Máquinas CNC; Rochas Ornamentais; Programação CNC; EasyStone; Dimpomar.

Abstract

Use of Computer Numerical Control machines in the ornamental stone sector and optimization of production at the Dimpomar company

This report presents the internship carried out at Dimpomar, focused on the production area using CNC machines. After an initial framework and characterization of the company, the production process for the transformation of ornamental stones and the equipment used are described.

The machines and their main characteristics are presented, along with an explanation of the fundamental operating principles.

The report details the main tasks performed during the internship, including the programming and operation of CNC machines, the coordination of work related to this area, and the interaction with the manufacturer's technical team.

Keywords: CNC Machines; Ornamental Stones; CNC Programming; EasyStone; Dimpomar.

Índice Geral

Agradecimentos.....	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice Geral	IV
Índice de Figuras	VI
Índice de Tabelas	XIII
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Âmbito.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Estrutura do Relatório	1
Capítulo 2 A Empresa.....	3
2.1 Apresentação da Empresa	3
2.2 Unidade Fabril.....	4
2.3 Pedra Natural.....	7
2.4 Acabamentos das Superfícies	13
Capítulo 3 Processo de Transformação	17
3.1 Aparelhamento de blocos	18
3.2 Serragem	19
3.3 Produção de Ladrilhos	23
3.4 Produção de Parapeitos	29
3.5 Polidora de Chapas	30
3.6 Produção de peças com medidas personalizadas.....	31
3.7 Produção de peças perfiladas	32

3.8 Acabamentos Manuais	33
3.9 Tratamento e Reciclagem de Águas.....	34
Capítulo 4 Máquinas CNC	40
4.1 Resenha Histórica.....	40
4.2 Equipamentos.....	42
4.3 Princípios Básicos de Funcionamento	46
4.3.1 Sistema de Visão	46
4.3.2 Programação EasyStone	49
4.3.3 Programação de Uma Peça Exemplificativa	53
Capítulo 5 Trabalhos Desenvolvidos Durante o Estágio.....	68
5.1 Programação de Máquinas CNC	68
5.2 Operação de Máquinas CNC	70
5.3 Coordenação e Otimização da Produção	73
5.4 Manutenção e Correção de Avarias.....	78
Capítulo 6 Considerações Finais	79
Referências Bibliográficas e Webgrafia.....	81

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Localização geográfica da empresa no contexto de Portugal continental.....	3
Figura 2.2: Principais unidades da fábrica. 1 – Escritórios; 2 – Pavilhão II; 3 – Armazém; 4 – Oficina; 5 – Parque de Blocos e chapas; 6 – Pavilhão I; 7 – Pavilhão III; 8 – Pavilhão IV; 9 – Depurador; 10 – Pavilhão V (em construção).....	5
Figura 2.3: Localização esquemática dos equipamentos de produção.....	6
Figura 2.4: Mármore Branco (Dimpomar, 2025).....	7
Figura 2.5: Mármore Creme (Dimpomar, 2025).....	7
Figura 2.6: Mármore Rosa (Dimpomar, 2025).....	7
Figura 2.7: Mármore Azul (Dimpomar, 2025).....	7
Figura 2.8: Pele de Tigre (Dimpomar, 2025).....	8
Figura 2.9: Ruivina Claro (Dimpomar, 2025).....	8
Figura 2.10: Ruivina Escuro (Dimpomar, 2025).....	8
Figura 2.11: Moca Creme ao contra (Dimpomar, 2025).....	8
Figura 2.12: Moca Creme ao favor (Dimpomar, 2025).....	8
Figura 2.13: Azul Atlântico (Dimpomar, 2025).....	9
Figura 2.14: Moleanos Bege (Dimpomar, 2025).....	9
Figura 2.15: Moleanos Azul (Dimpomar, 2025).....	9
Figura 2.16: Ataíja Azul (Dimpomar, 2025).....	9
Figura 2.17: Ataíja Creme (Dimpomar, 2025).....	9
Figura 2.18: Ataíja Malhada (Dimpomar, 2025).....	9

Figura 2.19: Verde Andeer (Ortognaisse).....	10
Figura 2.20: Granito.....	10
Figura 2.21: Travertino Encarnado.....	11
Figura 2.22: Terrazzo	11
Figura 2.23: Macio (Pele de Tigre).	13
Figura 2.24: Polido (Ruivina Claro).....	13
Figura 2.25: Bujardado (Azul Atlântico)	14
Figura 2.26: Jato de Areia (Gascogne Blue).....	14
Figura 2.27: Rústico (Rosal Fleuri).	15
Figura 2.28: Escova Frankfurt para executar o acabamento rústico.	15
Figura 2.29: Riverwashed (Aurea).....	15
Figura 2.30: Escacilhado (Ataíja Azul).....	16
Figura 2.31: Riscado (Moleanos).....	16
Figura 2.32: Fresa circular com dentes de tungsténio para realizar o acabamento riscado.	16

Capítulo 3

Figura 3.1: Fluxograma do processo de transformação da empresa Dimpomar	17
Figura 3.2: Monolâmina retirando uma face irregular indesejável de um bloco, de modo a aumentar o rendimento da serragem.....	18
Figura 3.3: Monofio CNC Pellegrini.	19
Figura 3.4: Engenho multilâminas a iniciar a serragem de um bloco.	20

Figura 3.5: Zorras com blocos serrados em chapa e uma outra já carregada com dois blocos prontos a entrar para serragem.....	20
Figura 3.6: Tirantes e chavetas utilizados na montagem de lâminas nos engenhos multilâminas.....	21
Figura 3.7: Processo de desmontagem das lâminas. A - Tirantes fixados por chavetas; B - Pistões hidráulicos; C – Aparafusadora; D - Parafusos tensionadores; E - Manómetro.	22
Figura 3.8: Chapas cortadas em bandas para, posteriormente, seguirem para a linha de ladrilhos.	23
Figura 3.9: Detalhe dos disco existentes na multidiscos, estes podem ser colocados em várias posições, em função da largura das bandas que se pretende obter.....	25
Figura 3.10: Refiadora em funcionamento, é possível visualizar a saída de duas bandas. Existem quatro motores, um para cada disco que corta horizontalmente as bandas.....	25
Figura 3.11: Três cabeças de calibração equipadas com pratos calibradores munidos de segmentos diamantados.....	26
Figura 3.12: Pratos calibradores diamantados.	26
Figura 3.13: Calço diamantado.....	26
Figura 3.14: Sequência de calços utilizados no amaciamento e polimento de rochas ornamentais.....	27
Figura 3.15: Multidiscos.....	28
Figura 3.16: Corta-topos.....	28
Figura 3.17: Seleção Manual.....	28
Figura 3.18: Exemplo de uma "cabeça" no comprimento do parapeito e numa das laterais. Assim como uma pingadeira no tardoz.	29

Figura 3.19: Polidora de cabeças.....	29
Figura 3.20: Chapa a ser dirigida por um carregador automático para iniciar o processo de polimento.....	30
Figura 3.21: Calibradora de chapas.....	30
Figura 3.22: Doze cabeças equipadas com calços de amaciamento e polimento que dão o acabamento desejado a cada chapa.....	31
Figura 3.23: Exemplo de peças octogonais cortadas nas máquinas CNC.....	32
Figura 3.24: Máquina CNC em trabalho de perfilagem de peças.....	33
Figura 3.25: Exemplo de segmentos diamantados utilizados para o corte de granitos e rochas similares.....	33
Figura 3.26: Exemplo de segmentos diamantados utilizados para o corte de mármores e rochas similares.....	33
Figura 3.27: Acabamentos manuais.....	34
Figura 3.28: Fluxograma do processo de tratamento e reciclagem de água.....	35
Figura 3.29: Poço coleto de águas industriais. A água vinda das instalações fabris entra no poço pelas duas tubagens da esquerda. No fundo, encontram-se duas bombas que encaminham a água para o depurador pelos dois tubos da direita.....	36
Figura 3.30: Depurador.....	37
Figura 3.31: Doseador e misturador de floculante.....	37
Figura 3.32: Depósitos de armazenamento de água limpa.....	38
Figura 3.33: Bombas.....	38
Figura 3.34: Reservatório temporário de nata, antes de seguir para prensagem.....	39
Figura 3.35: Prensa hidráulica.....	39

Capítulo 4

Figura 4.1: Primeiro torno de madeira.....	40
Figura 4.2: Exemplo esquemático geral da composição de uma máquina da gama StoneCut Line (CEI, 2025).....	44
Figura 4.3: Exemplo genérico de uma StoneCut Mill (CEI, 2025).	45
Figura 4.4: Rosca ½ gás para acoplagem de fresas manualmente.....	45
Figura 4.5: Cone de fixação de ferramentas (esquerda) ao motor das Máquinas CNC (direita).	45
Figura 4.6: Indicação dos sentidos de deslocação em cada um dos cinco eixos de movimento (CEI, 2025).....	46
Figura 4.7: Máquina de corte StoneCut Line com a numeração referente a cada módulo: 1 – carregador automático; 2 – digitalização de chapas; 3 – corte e 4 – referênciação e descarga de peças.....	48
Figura 4.8: Carregador de chapas automático.	48
Figura 4.9: Imagem de uma chapa digitalizada com a distribuição das peças a serem cortadas.....	48
Figura 4.10: Máquina em processo de corte de chapa.....	49
Figura 4.11: Remoção das peças cortadas através de uma ventosa acoplada a uma ponte rolante ou grua bandeira.....	49
Figura 4.12: Aspetto geral da interface "Draw" do EasyStone. Com destaque para o quadro de operações e a barra de ferramentas que permitem criar as formas 2D/3D (EasyStone, versão 6.912).	50
Na Figura 4.13: Configuração visual do painel "Machine" do EasyStone (EasyStone, versão 6.912).....	51
Figura 4.14: Disposição visual do modo “Dispose” (EasyStone, versão 6.912).	52

Figura 4.15: Modo "Do it". A vermelho está destacado o quadro de diálogo, onde surgem as mensagens referentes às ações executadas (EasyStone, versão 6.912).	53
Figura 4.16: Vista da interface "Draw", com a opção "Rectangle" selecionada e a indicação do comprimento na caixa de diálogo.	54
Figura 4.17: Mover uma cópia de um retângulo para 150 mm em Z.	54
Figura 4.18: Criação de um círculo.....	55
Figura 4.19: Com a opção "Trim/Extend" é eliminada a semicircunferência que não é útil.....	55
Figura 4.20: Utilizando a opção "Rotate" coloca-se o semicírculo na posição correta.	56
Figura 4.21: Utilização da opção "Offset" para criar uma linha paralela à linha selecionada.	56
Figura 4.22: Com a ferramenta "move", desloca-se a secção em Y, obtendo-se a estrutura das arestas 3D da peça.....	57
Figura 4.23: Aplicação da ferramenta "Trim Surfaces", sendo a parte azul escuro a que ficará no desenho.	58
Figura 4.24: Peça 3D após serem criadas as superfícies.....	58
Figura 4.25: Definição da "Box", ou seja, a peça em bruto. Neste caso considera-se que a peça já possui o comprimento e largura desejados, mas tem um excedente de 10 mm na espessura.	59
Figura 4.26: Interface de uma maquinção de desbaste "Rough".....	60
Figura 4.27: Aspetto final da maquinção de acabamento da superfície circular com recurso a um disco.	61
Figura 4.28: Seleção de uma linha que servirá como guia para um corte. Assim como, o tipo de maquinção “Cut” e a ferramenta “Disco800”.	61
Figura 4.29: Interface da maquinção do tipo "Cut".	62

Figura 4.30: Detalhe da barra de ferramentas da maquinação "Cut", com as propriedades da ferramenta "Disco800" em destaque. O parâmetro "Angle" é responsável por colocar o disco com uma inclinação de 45º.	62
Figura 4.31: Criação de um círculo, tendo em vista a execução de um furo.	63
Figura 4.32: Corte da superfície com recurso à opção “Trim Surfaces”, resultando num orifício na peça onde será realizado o furo.	64
Figura 4.33: Interface de uma maquinação do tipo "Milling".	64
Figura 4.34: A janela destaca o estabelecimento de incrementos em espiral de 2 mm em cada revolução.	64
Figura 4.35: Interface do modo "Dispose". Selecionando a peça é possível movê-la para um ponto de coordenadas e indicar um "Shim" (distância entre a parte de baixo da peça e a mesa de trabalho).	65
Figura 4.36: Simulação do trabalho a executar pela máquina.	66
Figura 4.37: Aspeto da interface do modo "Do It", com o código G gerado com sucesso.	66
Figura 4.38: Exemplo das primeiras linhas do código G que será processado pela máquina, permitindo que ela execute movimentos de acordo com as instruções definidas.	67

Capítulo 5

Figura 5.1: Nível de acabamento obtido na máquina (esquerda) e após o acabamento manual (direita).	69
Figura 5.2: Algumas das ferramentas utilizadas nas máquinas CNC.	70
Figura 5.3: Interface do controlador das máquinas CNC, Inocontrol.	72
Figura 5.4: Monofio CNC Pellegrini em laboração.	73

Figura 5.5: Encadeamento das tarefas principais a desenvolver no processo de produção com máquinas CNC.....	74
Figura 5.6: Peça A (pias maciças).....	75
Figura 5.7: Peça B (baixo relevo a ser aplicado em fachada).	76
Figura 5.8: Peça C (detalhe de um canto de degrau maciço).....	77
Figura 5.9: Peças D (maquinação de bordos de banheira. A – maquinação com fresa (menos vantajoso); B – maquinação de 60 peças em simultâneo com disco (mais vantajoso).....	78

Índice de Tabelas

Tabela 1: Características físico-mecânicas das rochas do Anticlinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho que constam do registo de Rochas Ornamentais Portuguesas do Laboratório Nacional de Energia e Geologia).....	12
Tabela 2: Características das máquinas CNC existentes na Dimpomar.....	43
Tabela 3: Análise dos tempos de ciclo inicial e otimizado e ganho percentual relativo às peças programadas.	74

Capítulo 1 Introdução

1.1 Âmbito

Este relatório de estágio destina-se à conclusão do Mestrado em Engenharia Geológica da Universidade de Évora, tendo sido realizado em ambiente laboral na empresa Dimpomar – Rochas Portuguesas, Lda., entidade empregadora do candidato.

1.2 Objetivo

A realização deste trabalho tem como objetivo, apresentar o processo de transformação de rochas ornamentais, desde o bloco até aos produtos finais comercializados, centrando-se fundamentalmente no processo de transformação utilizando máquinas de Controlo Numérico Computorizado (CNC) e na organização dos trabalhos a efetuar. É importante esclarecer que, neste trabalho, o termo “transformação” é utilizado como sinónimo de “processamento” de rochas ornamentais. Na verdade, apenas se processa a matéria-prima, não ocorrendo uma verdadeira transformação. No entanto, no Sector das Rochas Ornamentais, ocorre a utilização generalizada do termo “transformação”.

1.3 Estrutura do Relatório

O relatório está organizado em seis capítulos, estruturados para apresentar o contexto do estágio, as atividades desenvolvidas e as conclusões obtidas.

No primeiro capítulo é feita a introdução, onde se explicam os objetivos do estágio e se enquadra o trabalho realizado. Este capítulo termina com a descrição da estrutura do relatório, permitindo compreender a lógica seguida na sua organização.

O segundo capítulo centra-se na empresa onde decorreu o estágio. São apresentados dados sobre a sua origem e evolução, a área de negócio em que atua, os principais produtos e mercados, bem como a forma como está organizada do ponto de vista físico, com a disposição dos pavilhões e das máquinas no espaço produtivo.

Segue-se o terceiro capítulo, que descreve o processo produtivo. São explicadas as diferentes etapas que o constituem, incluindo os equipamentos e tecnologias utilizadas, assim como os métodos aplicados para garantir a qualidade e a eficiência.

No quarto capítulo é abordada a componente técnica associada às máquinas CNC existentes na empresa. Este ponto inclui uma breve resenha histórica, a caracterização dos equipamentos, o funcionamento e os princípios de programação utilizados, oferecendo uma base para compreender as tarefas desenvolvidas mais à frente.

O quinto capítulo concentra os trabalhos realizados durante o estágio, com destaque para atividades como a programação das máquinas CNC, o acompanhamento da sua operação, a coordenação e otimização da produção e a interação com a equipa de suporte técnico do fabricante.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as considerações finais, onde são avaliados os resultados alcançados, salientando os contributos do estágio para a empresa e para a aprendizagem do estagiário, bem como sugestões para eventuais melhorias futuras.

Capítulo 2 A Empresa

2.1 Apresentação da Empresa

A Dimpomar foi fundada em 1980 dedicando-se à transformação e comercialização, na sua grande maioria, de calcários e mármores para fins ornamentais, sendo o mercado internacional o principal destino da sua produção.

A unidade de transformação situa-se na Herdade da Vigária, 7160-909 Vila Viçosa, em pleno núcleo de extração do Anticlinal de Estremoz (Figura 2.1), possuindo ainda dois parques de blocos, nos sítios da “Calçadinha” e da “Toca do Lagarto”.

Faz parte do grupo uma empresa subsidiária, Tons de Pedra – Mármore e Granitos do Mundo, Lda, localizada em Montelavar, destinada principalmente à importação de uma grande variedade de materiais provenientes de todo o mundo, estando principalmente vocacionada para o mercado nacional.



Figura 2.1: Localização geográfica da empresa no contexto de Portugal continental.

Entre os produtos mais comercializados destacam-se chapas, ladrilhos e trabalhos especiais por medida. Estes últimos referem-se a projetos personalizados e possuem uma grande variedade de formas e dimensões para fins diversos. São exemplos, bases de duche, tampos de cozinha e casa de banho, banheiras, peças perfiladas, baixos e altos-relevos, pavimentos e revestimentos de fachadas por medida, entre outros. A empresa possui

capacidade para executar variados acabamentos de superfícies, como polido, amaciado, bujardado, jato de areia, rústico, riscado, escassilhado e *riverwashed*.

2.2 Unidade Fabril

A fábrica está dividida em setores ou unidades, com funções específicas, as quais podem ser observadas na imagem de satélite (Figura 2.2), onde é visível a área da fábrica e as suas principais unidades.

No arranque da unidade de transformação apenas existia o Pavilhão I e o parque de blocos, havendo apenas uma linha de ladrilho standard. Posteriormente foi construído o Pavilhão II, dando início à produção de peças por medida e serviços de acabamento manual. O desenvolvimento da fábrica continuou com a construção do Pavilhão III, onde foi colocada a primeira máquina de corte de chapa com câmara de imagem. O pavilhão IV está equipado com uma polidora de chapa e destina-se também ao stock das mesmas.

No momento da redação deste relatório, encontram-se a decorrer as obras de construção do futuro Pavilhão V.

A fábrica possui ainda unidades de apoio, como escritórios, oficina mecânica, armazém e instalações sociais.

Existe também uma unidade de tratamento de águas industriais, constituída por um tanque de receção, unidade de flocação, depurador, filtro prensagem e tanque de águas limpas para recirculação na fábrica, diminuindo os custos e o impacto ambiental que decorre da utilização deste recurso.



Figura 2.2: Principais unidades da fábrica. 1 – Escritórios; 2 – Pavilhão II; 3 – Armazém; 4 – Oficina; 5 – Parque de Blocos e chapas; 6 – Pavilhão I; 7 – Pavilhão III; 8 – Pavilhão IV; 9 – Depurador; 10 – Pavilhão V (em construção).

Na Figura 2.3 está identificada a distribuição espacial dos equipamentos, obedecendo a um posicionamento lógico e sequencial das diferentes linhas de produção, com vista à máxima rentabilização do espaço. No capítulo sobre o processo de transformação será desenvolvida informação sobre os equipamentos que constituem a Dimpomar.

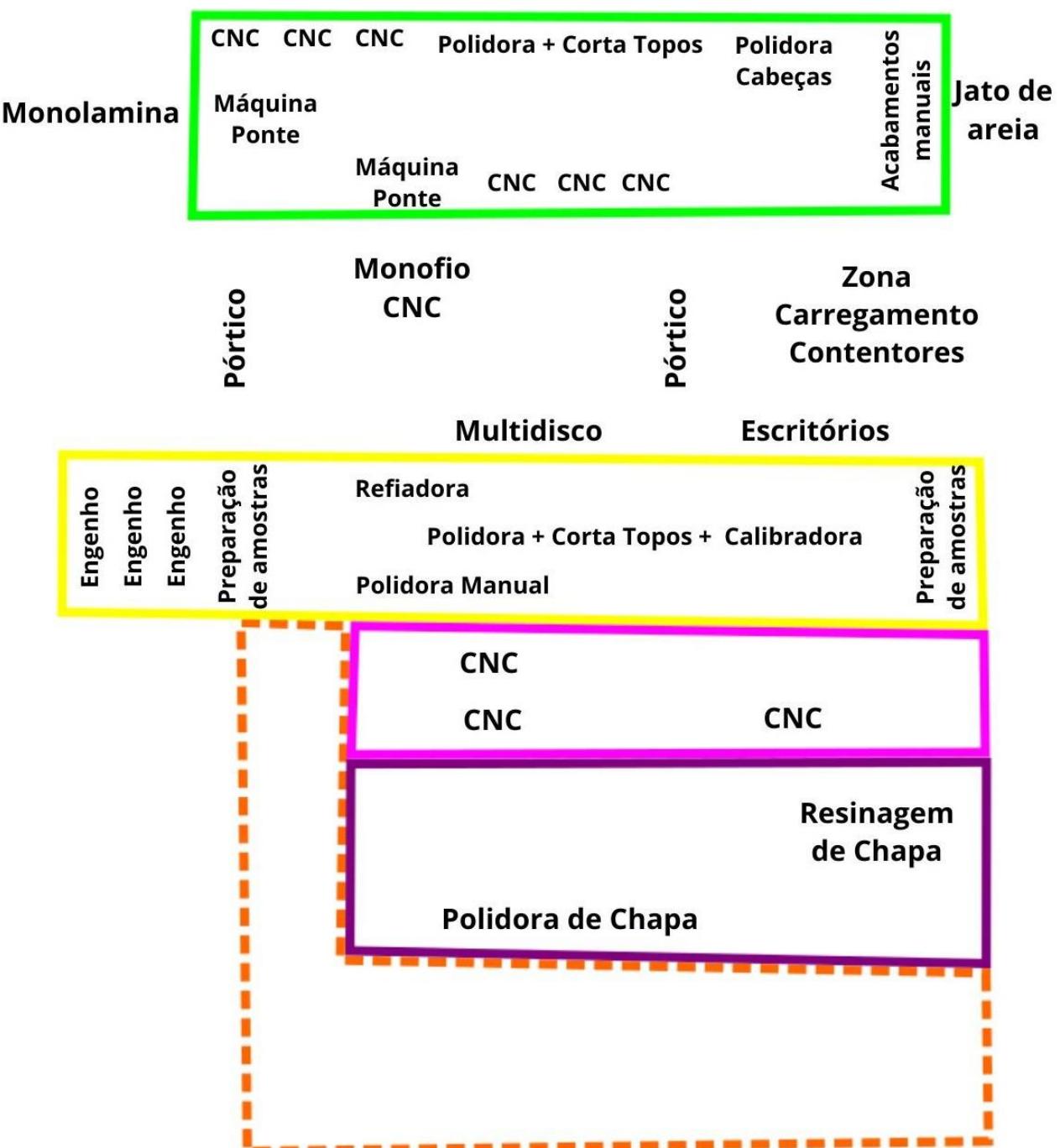


Figura 2.3: Localização esquemática dos equipamentos de produção.

Os dois parques de blocos que são propriedade da empresa, “Calçadinha” e “Toca do Lagarto”, para além dos equipamentos indispensáveis ao manuseamento dos blocos, pórticos e vira-blocos, o primeiro parque dispõe ainda de dois engenhos de lâminas e uma monolâmina e o segundo parque, duas monolâminas e um monofio móvel.

2.3 Pedra Natural

Na Dimpomar são trabalhadas uma grande variedade de rochas, principalmente mármore e calcários portugueses, surgindo, por vezes projetos que utilizam outras rochas como arenitos, gnaisses, granitos, travertinos e materiais sintéticos.

Nesta secção serão destacadas apenas algumas das rochas que possuem uma maior expressão comercial na empresa, bem como alguns litótipos que esporadicamente são trabalhados, mas que se revelam interessantes para este trabalho.

No grupo dos mármore, destacam-se as rochas presentes no Anticlinal de Estremoz, através das variedades Branco, Creme, Rosa, Azul, Pele de Tigre e Ruivina. A sequência de Figuras 2.4 a 2.10 mostra os diferentes tons existentes, podendo ocorrer maior ou menor presença de vergada.



Figura 2.4: Mármore Branco (Dimpomar, 2025). Figura 2.5: Mármore Creme (Dimpomar, 2025).



Figura 2.6: Mármore Rosa (Dimpomar, 2025).

Figura 2.7: Mármore Azul (Dimpomar, 2025).



Figura 2.8: Pele de Tigre (Dimpomar, 2025).



Figura 2.9: Ruivina Claro (Dimpomar, 2025).



Figura 2.10: Ruivina Escuro (Dimpomar, 2025).

Entre os calcários, destacam-se as rochas do Maciço Calcário Estremenho, como o Moca Creme, Moleanos, Ataíja e Azul Atlântico.

A comercialização do Moca Creme tem expressão em ambos os sentidos de serragem dos blocos. Ao “contra” é possível distinguir os alinhamentos dos clastos que constituem a rocha (Figura 2.11), sendo o sentido de serragem perpendicular a esta orientação. Enquanto ao “favor” (Figura 2.12) o corte é feito no mesmo sentido do alinhamento. Também ocorre uma distinção entre a granulometria dos clastos, ocorrendo variações com grão fino, médio e grosso.

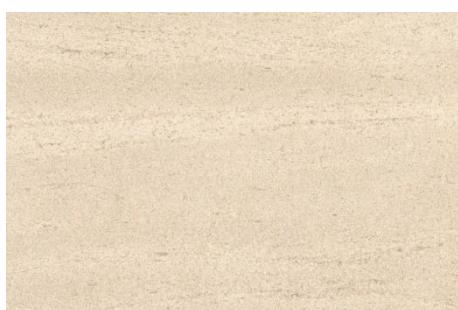


Figura 2.11: Moca Creme ao contra
(Dimpomar, 2025).



Figura 2.12: Moca Creme ao favor
(Dimpomar, 2025).

Algumas variedades são serradas, normalmente, ao “favor”, como o Moleanos, Ataíja e Azul Atlântico (Figura 2.13). Sendo que os dois primeiros estão disponíveis em variedades com tons diferentes. Apresentando o Moleanos tonalidades bege (Figura 2.14) ou azul acinzentado (Figura 2.15) e a Ataíja apresenta as variações, azul (Figura 2.16), creme (Figura 2.17) e malhada (Figura 2.18).



Figura 2.13: Azul Atlântico (Dimpomar, 2025).



Figura 2.14: Moleanos Bege (Dimpomar, 2025).



Figura 2.15: Moleanos Azul (Dimpomar, 2025).



Figura 2.16: Ataíja Azul (Dimpomar, 2025).



Figura 2.17: Ataíja Creme (Dimpomar, 2025).



Figura 2.18: Ataíja Malhada (Dimpomar, 2025).

Para além das rochas mencionadas até aqui, por vezes surgem projetos que utilizam outros litótipos nacionais e internacionais. São exemplos os gnaisses (Figura 2.19) e granitos (Figura 2.20), que por serem constituídas por minerais de maior dureza que os que compõem os mármores e calcários, apresentam uma dureza e abrasividade superiores. Este facto condiciona a transformação destas rochas, pelo que não são transformadas desde o bloco. Pois, cada grupo de rochas necessita de equipamentos com características específicas para um processamento eficiente.



Figura 2.19: Verde Andeer (Ortognaisse).



Figura 2.20: Granito.

Esporadicamente também poderão ser processados arenitos, travertinos (Figura 2.21) e materiais sintéticos. Os travertinos possuem uma constituição mineral semelhante aos calcários, pelo que o seu comportamento ao corte é bastante semelhante a estes. Os arenitos são relativamente fáceis de trabalhar, no entanto, devido a possuírem minerais siliciosos, como por exemplo o quartzo, leva a que sejam bastante abrasivos, com repercussões na durabilidade das ferramentas de corte. Os materiais sintéticos, como o terrazzo (Figura 2.22) ou *silestone*, são constituídos por uma mistura de fragmentos de rochas, vidros e resinas, sendo a sua trabalhabilidade variável, mas sempre com um desgaste das ferramentas superior aos calcários.



Figura 2.21: Travertino Encarnado.



Figura 2.22: Terrazzo.

Do ponto de vista da saúde e segurança no trabalho, as rochas que possuem sílica na sua constituição possuem uma maior perigosidade ao serem inaladas as poeiras resultantes do seu processamento. Logo, ao trabalhar estes materiais deverá utilizar-se água em abundância, para reduzir as poeiras em suspensão e utilizar máscaras de proteção adequadas.

Em termos gerais, os mármores por serem mais compactos são mais difíceis de trabalhar que os calcários. Tal pode ser verificado pela tabela 1, que mostra as características físico-mecânicas das rochas do Anticlinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho que constam do registo de Rochas Ornamentais Portuguesas do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

No entanto, existem variedades de calcários como a Ataíja e o Azul Atlântico que por serem mais compactos, apresentam uma resistência ao corte maior que o Moca Creme e outras variedades semelhantes a este.

Mesmo entre os mármores do Anticlinal de Estremoz existe alguma heterogeneidade em relação ao corte e ao processamento em geral. Quando existe maior ocorrência de vergada, maior é a dificuldade de processamento, isto deve-se à existência de outros minerais com dureza superior à da calcite que surgem nestas zonas, como o quartzo, por exemplo.

Tabela 1: Características físico-mecânicas das rochas do Anticinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho que constam do registo de Rochas Ornamentais Portuguesas do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

Litótipo	Variedade	Resistência à flexão sob carga centrada (Mpa)	Resistência à compressão uniaxial (Mpa)	Absorção de água à pressão atmosférica (%)	Densidade aparente (kg/m³)	Porosidade aberta (%)	Resistência ao desgaste por abrasão Ensaio Amsler (mm)
MÁRMORES	CREME ESTREMOZ	19.3	93	0,1	2710	0,2	2,2
	BRANCO ESTREMOZ	15,3	86	0,1	2710	0,2	3,4
	BRANCO ROSADO	15,4	95	0,1	2720	0,2	2
	BRANCO VENADO DA CRUZ DOS MENINOS	15,1	85	0,1	2710	0,2	3,2
	ROSA VENADO DO OLVAL DA ENCOSTINHA	13,1	91	0,1	2730	0,2	1,4
	ROSA DE ROSAL	14,9	59	0,1	2710	0,2	1,6
	ROSA VENADO DE CINZENTO	10,3	73	0,0	2720	0,1	1,7
	ROSA COM VENADO ESVERDEADO	12,4	69	0,1	2720	0,3	1,6
	OSA VENADO DE CINZENTO E ACASTANHAD	15,4	91	0,1	2720	0,2	2,1
	ROSABORBA	10,7	87	0,1	2710	0,2	2,1
	CREME	8	73	0,1	2710	0,2	2,2
	RUMNAESCURO	16	91	0,1	2720	0,2	2,6
	ROSA VENADO DO POÇO BRAVO	16	76	0,1	2710	0,2	1,7
	BRANCO VENADO DO PÓCO BRAVO	13,4	71	0,1	2710	0,2	1,9
	CREME VENADO	16,6	97	0,1	2710	0,2	2,6
	CREME DO MOURO	16,7	89	0,1	2720	0,2	2,5
	BRANCO COM VERGADAS	11,9	88	0,1	2710	0,2	2,3
	CREME ROSADO	13,3	82	0,1	2710	0,3	3,2
	ROSA AURORA	12,2	85	0,1	2720	0,2	3,7
	BRANCO VIGÁRIA	14,3	95	0,1	2710	0,2	2,1
	BRANCO DE CABANAS	13,5	104	0,1	2710	0,2	2,5
	ROSA EL-REI	12,4	109	0,1	2720	0,2	2,3
	BRANCO ESTATUÁRIA	14,3	77	0,1	2710	0,2	2,8
	ROSA CLARO	12,8	92	0,1	2710	0,2	3,5
	COR DE MEL / PATA DE GATO	13,2	13,2	0,1	2710	0,3	3
	BRANCO ANILADO	16,9	76	0,1	2720	0,2	3,8
	BRANCO LEVEMENTE VENADO	22,1	100	0,1	2720	0,2	3
	ROSA MAROTEIRA	17,7	90	0,1	2720	0,2	1,9
	BRANCO DO OLIVAL GRANDE	15	140	0,1	2730	0,3	3,3
	CREME LAGOA	13,4	75	0,1	2710	0,2	2,6
	ROSA LAGOA	9,8	92	0,1	2710	0,3	3,1
	BRANCO LAGOA	11,5	99	0,1	2710	0,3	3,1
	AZUL LAGOA	11,7	79	0,1	2710	0,3	2,2
	ROSA VENADO DE S. MARCOS	16,9	93	0,1	2710	0,3	3,1
	JVINA DE FONTE DA MOURA / RUVINA CLAR	13,7	85	0,1	2700	0,3	2
	BRANCO PARDALIS	19,5	85	0,1	2710	0,2	2,8
	CREME ROSADO DA FONTE DA MOURA	17,6	99	0,1	2710	0,3	2,2
CALCÁRIOS	ALPINAMONSANTO	5,5	112	0,1	2700	0,4	4,6
	ALPININA CLARO	10	113	0,3	2690	0,7	2,7
	ALPININA ROSA ATLÂNTIDA	5	105	0,3	2670	0,7	2
	BRECHA MARÍTIMA	11	133	1,8	2620	4,7	1,8
	AZUL VALVERDE	14,8	141	0,7	2640	1,4	3,1
	MOCACREME	9,7	83	3,6	2430	8,5	4,5
	MOCARELVINHA	12,8	97	3,5	2450	8,1	4,8
	SEM-RIO DO CODAÇAL	9,4	64	5,5	2310	12,3	5,2
	CABEÇA VEADA	12,6	93	4,1	2400	9,4	4,8
	BRANCO DO MAR	7,5	52	6,2	2280	13,3	6,6
	OLHO DE SAPO	6,5	92	2,5	2510	6,2	2,4
	BANCO DE BAIXO	19,7	164	1	2630	2,6	1,5
	CREME MOLEANOS	10,3	93	1,7	2570	4,4	3,5
	MOLEANOS RIO	13,2	160	0,6	2650	1,7	2
	MOLEANOS MACIO	9,5	90	3,1	2480	7,6	4,5
	BANCO DO FUNDO	10,5	111	1,2	2610	3,1	2,8
	MOLEANOS AZUL	11,9	197	0,7	2660	1,9	3,4
	VIDRÃO DE ATAÚA AZUL	10,3	162	0,4	2680	0,9	2,6
	VIDRÃO DE ATAÚA CREME	13,4	222	0,6	2670	1,5	2,7

2.4 Acabamentos das Superfícies

O acabamento final da superfície de um artigo de rocha ornamental é de grande importância, uma vez que influencia o aspetto visual e a sensação ao toque, contribuindo para a experiência estética e sensorial do utilizador.

Na Dimpomar são realizados diversos tipos de acabamento, sendo apresentados de seguida os mais comuns. Utiliza-se, para tal, a nomenclatura adotada pela empresa, uma vez que podem existir variações nos termos usados no setor:

- Macio (Figura 2.23), caracteriza-se pela obtenção de uma superfície lisa sem brilho, que poderá ter diferentes níveis, de acordo com o número do calço final utilizado.



Figura 2.23: Macio (*Pele de Tigre*).

- Polido (Figura 2.24), esta superfície macia poderá ser alvo de um polimento com calços ainda mais finos, e adicionalmente podem ser utilizadas resinas para se obter uma superfície ainda mais brilhante.



Figura 2.24: Polido (*Ruivina Claro*).

- Bujardado (Figura 2.25), confere à superfície uma textura irregular, que pode variar conforme o espaçamento entre os dentes da bujarda utilizada.



Figura 2.25: Bujardado (Azul Atlântico).

- Jato de areia (Figura 2.26), como o nome indica, obtém-se através da utilização de um jato de ar comprimido carregado de areia fina, o que proporciona à rocha uma textura rugosa muito fina.



Figura 2.26: Jato de Areia (Gascogne Blue).

- Rústico (Figura 2.27), neste caso a superfície fica com uma textura irregular, macia e com algum brilho, remetendo para aparência envelhecida. Este acabamento é obtido com o uso de escovas dotadas de filamentos diamantados (Figura 2.28), sendo que o grau de irregularidade da superfície depende da espessura desses filamentos — quanto mais finos, mais suave é o acabamento; quanto mais espessos, mais pronunciada é a textura resultante.



Figura 2.27: Rústico (Rosal Fleuri).



Figura 2.28: Escova Frankfurt para executar o acabamento rústico.

- Riverwashed (Figura 2.29), recorrendo a um ácido consegue-se um aspeto irregular com algum brilho, mas com uma textura áspera.



Figura 2.29: Riverwashed (Aurea).

- Escacilhado (Figura 2.30), este acabamento reflete uma superfície irregular, devido a zonas preferenciais de fratura, dando um aspeto rústico e de rocha partida, podendo ser feito com espaçamentos variados.



Figura 2.30: Escacilhado (Ataíja Azul).

- Riscado (Figura 2.31) é um tipo de textura obtida por meio de sulcos ou riscos paralelos e regulares feitos mecanicamente na pedra, com recurso a uma fresa circular que possui pequenos dentes pontiagudos de tungsténio (Figura 2.32). Este acabamento confere à superfície um aspetto rústico e antiderrapante.



Figura 2.31: Riscado (Moleanos).



Figura 2.32: Fresa circular com dentes de tungsténio para realizar o acabamento riscado.

Capítulo 3 Processo de Transformação

O processamento de rochas ornamentais na Dimpomar (Figura 3.1) inicia-se com os blocos. Estes quando chegam às instalações da empresa são armazenados em um dos três parques de blocos que a Dimpomar possui. Estes locais estão equipados com pórticos que permitem deslocar os blocos, e vira blocos que são utilizados, para colocar os blocos numa posição mais favorável para serem aparelhados ou serrados.

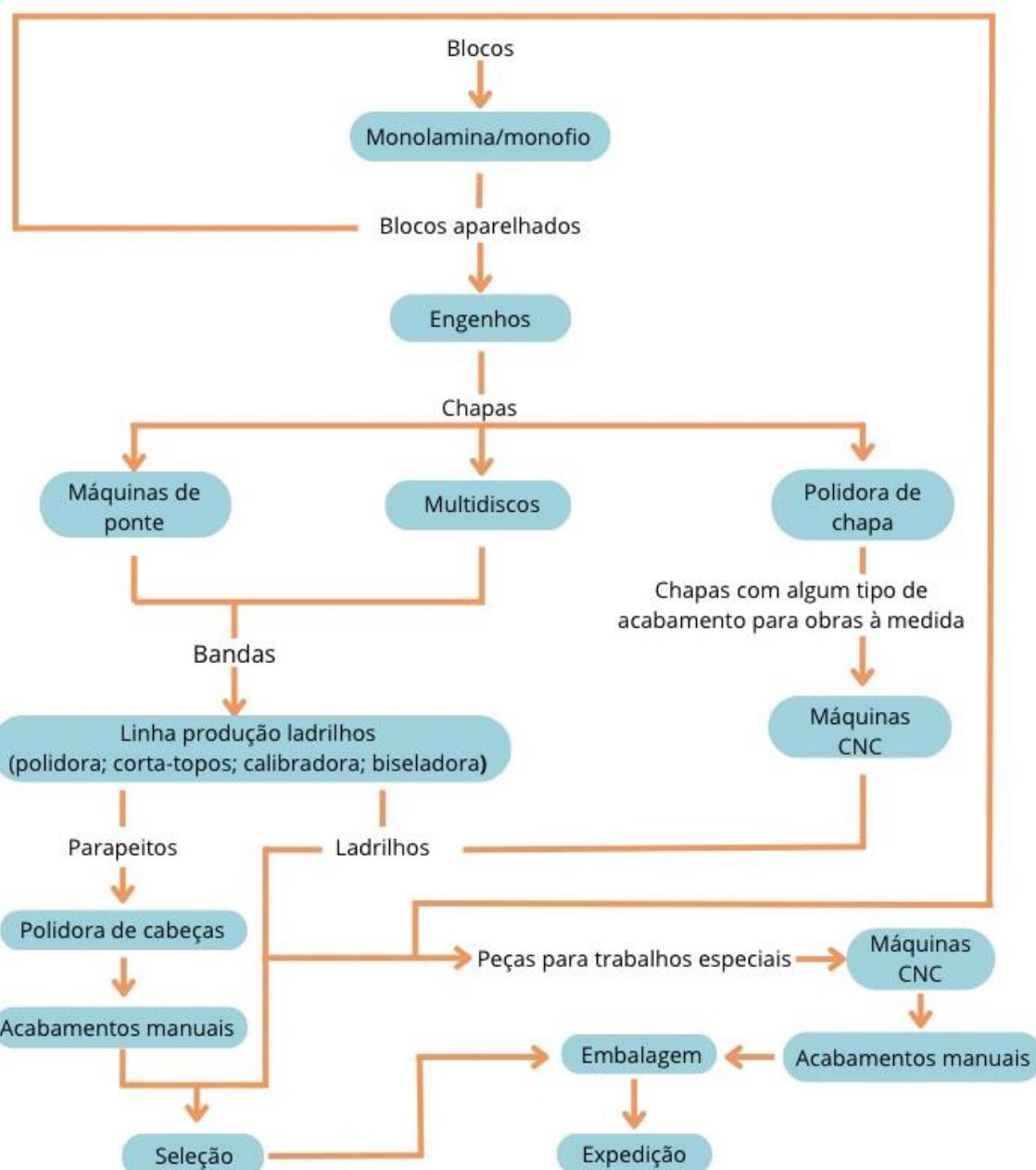


Figura 3.1: Fluxograma do processo de transformação da empresa Dimpomar.

3.1 Aparelhamento de blocos

O primeiro passo no processo de transformação consiste na observação dos blocos, cujo objetivo é identificar características estruturais que poderão ser prejudiciais. Nos mármore as mais frequentes são as fraturas, vergadas e a diferença cromática. Nos calcários, os fósseis, estilólitos, fraturas abertas ou com preenchimento, cavidades e variações de tonalidade, são alguns dos aspectos a ter em consideração. No entanto, a vergada, a variação de tons e alguma heterogeneidade no que diz respeito ao padrão, estão relacionadas com a exigência e as opções dos clientes. Também as medidas das peças a produzir são tidas em conta, de modo a reduzir o desperdício de matéria-prima.

A monolâmina (Figura 3.2), assim como o monofio, são equipamentos que permitem aparelhar os blocos, isto é, retirar defeitos como fraturas ou vergadas prejudiciais à serragem e redimensionar os blocos conferindo-lhes uma forma regular, preferencialmente paralelepípedica. Este aparelhamento é um processo importante na otimização do espaço na zorra para a serragem, visto poder-se fazer uma carga com vários blocos. Sendo assim, são equipamentos indispensáveis em qualquer unidade de transformação.



Figura 3.2: Monolâmina retirando uma face irregular indesejável de um bloco, de modo a aumentar o rendimento da serragem.

A lâmina é composta por segmentos diamantados sinterizados, soldados a um suporte de aço. O seu movimento descendente é controlado por um sistema de fuso sem-fim, no qual uma porca está acoplada à estrutura de suporte da barra horizontal da monolâmina. Esta porca desloca-se verticalmente ao longo do fuso que, ao rodar, converte o movimento rotativo em movimento linear, permitindo a descida controlada da lâmina durante o corte. A capacidade de corte da lâmina deve-se ao seu movimento de vaivém, gerado por um sistema

biela-manivela, que converte o movimento circular do motor em movimento retilíneo da lâmina.

O monofio (Figura 3.3) realiza o corte do bloco através de um fio diamantado, colocado em movimento por um volante motriz e guiado por um volante de apoio. O equipamento existente na Dimpomar é comandado por CNC, o que permite não apenas cortes verticais descendentes, mas também horizontais, diagonais e curvilíneos, graças a um sistema de polias direcionais e aos movimentos longitudinais e rotativos da mesa.



Figura 3.3: Monofio CNC Pellegrini.

3.2 Serragem

Os blocos aparelhados são colocados em zorras, utilizando-se gesso para prevenir movimentações dos blocos durante a serragem. A zorra é colocada dentro do engenho por intermédio de um transbordador. Os quatro cantos da zorra vão assentar em patins, dois planos e dois trapezoidais, este sistema impede que a zorra oscile, devendo ser sempre verificado e afinado.

O motor é colocado em funcionamento e através de uma correia plana, o motor faz girar o volante. A lança é posta em movimento pelo volante, transformando-se o movimento circular do volante em movimento retilíneo, através de um sistema biela-manivela. Este movimento é transferido para a grade, onde estão colocadas as lâminas, adquirindo um movimento de vaivém.

Faz-se o bloco subir e quando os segmentos diamantados entram em contacto com o bloco inicia-se a serragem.

A utilização de água é indispensável, para proceder à limpeza dos golpes e ao arrefecimento dos equipamentos de corte no geral e dos diamantes em particular. Este aspeto reveste-se de grande importância, caso contrário a matriz metálica que suporta os diamantes poderá degradar-se prematuramente, levando ao seu destacamento e à consequente diminuição do tempo de vida das pérolas ou dos segmentos diamantados.

Para reduzir os tempos de trabalho mortos, enquanto um engenho está a serrar é preparada outra carga noutra zorra, pronta para iniciar a serragem.

No fim da serragem (Figura 3.4) são obtidas chapas (Figura 3.5). Toda a montagem das lâminas obedece a critérios rigorosos, no sentido de possuírem o tensionamento ideal, pois o objetivo é obter-se chapas de superfícies e espessuras o mais regular possível. Caso se pretenda, na mesma carga, obterem-se chapas de diferentes espessuras, as lâminas podem ser montadas no tear com espaçamentos diferentes, rentabilizando assim o processo de serragem.



Figura 3.4: Engenho multilâminas a iniciar a serragem de um bloco.



Figura 3.5: Zorras com blocos serrados em chapa e uma outra já carregada com dois blocos prontos a entrar para serragem.

As lâminas possuem um talão rebitado ao suporte em cada extremidade, que se encaixa nos tirantes (Figura 3.6). Os tirantes, por sua vez, são fixos às cabeceiras da grade através chavetas (Figura 3.7). Para uma adequada substituição de lâminas, são necessários quatro trabalhadores, dois na parte inferior do tear e dois na parte superior, posicionando-se cada um em cada lado das lâminas a desmontar ou montar, conforme o caso.

Os tirantes presentes na Figura 3.6 possuem uma ranhura para encaixe do talão da lâmina, que pode ser observado no lado esquerdo da imagem. Do lado direito encontram-se as chavetas, que prendem os tirantes à grade do engenho. No caso da Figura 3.6, as chavetas e tirantes possuem uma estrutura diferente. Na montagem, a sequência é composta pelo conjunto inferior, seguido da lâmina e, por fim, do conjunto superior, ficando assim cada tirante posicionado nas extremidades da lâmina. O primeiro tensionamento é aplicado no parafuso que se encontra na extremidade direita do tirante superior.



Figura 3.6: Tirantes e chavetas utilizados na montagem de lâminas nos engenhos multilâminas.

A primeira lâmina a ser montada é denominada “lâmina mestra”, devendo a sua instalação merecer especial atenção. Esta é encostada a calços de apoio, que permitem ajustar e nivelar a lâmina na direção longitudinal, com recurso a um comparador. Também o valor de flexa é ajustado para corresponder ao aconselhado.

A flexa das lâminas refere-se à curvatura convexa que cada uma deve apresentar, para que, ao entrar na pedra, a força ascendente do bloco não provoque uma curvatura côncava na lâmina. Tal situação provocaria o desgaste anormal dos segmentos diamantados das lâminas, maior instabilidade e impactos, refletindo-se numa má serragem. O valor de flexa recomendada varia de acordo com as dimensões das lâminas, comprimento e espessura, bem como o tensionamento, existindo, portanto, uma relação direta entre estas três variáveis

- dimensão das lâminas, flexa e tensionamento - sendo cada lâmina ajustada de forma a apresentar um valor de flexa correto.

No processo de desmontagem das lâminas ilustrado na Figura 3.7 é possível observar os tirantes fixados por chavetas, de modo que os pistões hidráulicos empurram as chavetas, estas puxam os tirantes e, consequentemente, as lâminas. Nota-se também uma parafusadora acoplada a um dos parafusos tensionadores, assim como um manômetro que indica a pressão do óleo hidráulico utilizado no tensionamento das lâminas.

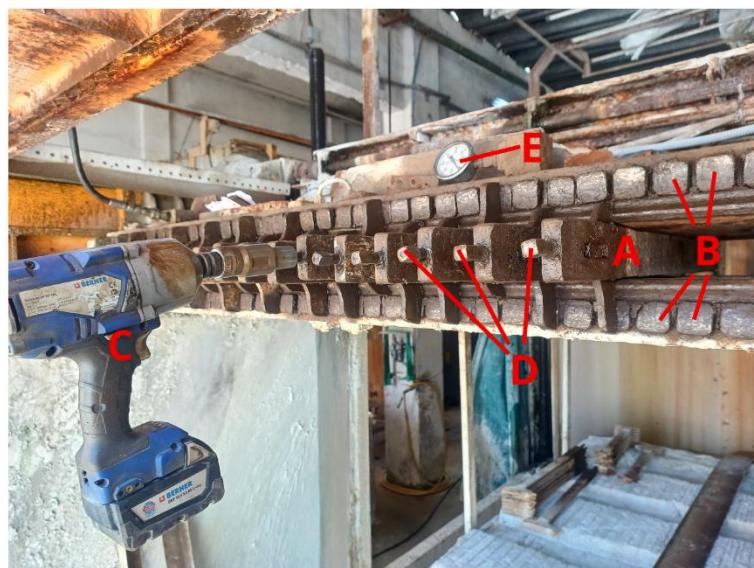


Figura 3.7: Processo de desmontagem das lâminas. A - Tirantes fixados por chavetas; B - Pistões hidráulicos; C – Aparafusadora; D - Parafusos tensionadores; E - Manômetro.

Entre cada lâmina é colocado um separador de alumínio, madeira ou de rylene (plástico técnico) com a dimensão correspondente à espessura das chapas a serrar. De modo geral, os separadores possuem mais 2 mm do que a espessura das chapas a serrar. Por exemplo, para serrar chapas a 2 cm utilizam-se separadores com 2,2 cm, uma vez que os segmentos sobressaem 1 mm de cada lado em relação ao aço de suporte da lâmina.

Ao serem instaladas, as lâminas, sofrem um primeiro tensionamento, aplicado com uma chave dinamométrica. Para suportes de aço das lâminas com espessura de 3,5 mm, aplica-se uma tensão de 21 kgf·m e para espessura de 2,5 mm entre 11 e 14 kgf·m. Este tensionamento é insuficiente para suportar os esforços durante a serragem, pelo que é realizado um segundo tensionamento. Este é obtido através da introdução de óleo hidráulico no interior das cabeceiras da grade, com recurso a uma bomba hidráulica. Os pistons, localizados no interior das cabeceiras, empurram as chavetas devido à pressão do óleo,

formando um quadrilátero de forças internas que provoca o tensionamento das lâminas. Esta ação eleva o tensionamento das lâminas, dependendo novamente da espessura do aço das lâminas, para 480 bares (aço de 2,5 mm) ou 520 bares (aço de 3,5 mm).

3.3 Produção de Ladrilhos

Tendo como objetivo a obtenção de ladrilhos, as chapas seguem para máquinas de corte tipo ponte para serem cortadas em bandas (Figura 3.8). A empresa possui uma multidiscos (Figura 3.9), na qual podem ser acoplados vários discos diamantados a um eixo com 1,7 metros de comprimento. Estes discos são espaçados entre si de acordo com a largura das bandas a obter. O equipamento possui três eixos (um em utilização e dois de reserva), permitindo a sua pré-montagem para poupar tempo de preparação. Esta máquina possibilita o corte das chapas em várias bandas em simultâneo, não sendo, no entanto o método mais utilizado. Para este tipo de trabalho, os equipamentos mais recorrentes são as máquinas de ponte, Pedrini e as máquinas de CNC da CEI – Companhia de Equipamentos Industriais, Lda.



Figura 3.8: Chapas cortadas em bandas para, posteriormente, seguirem para a linha de ladrilhos.

As duas máquinas de ponte existentes são idênticas, possuem um barramento transversal que se movimenta por cima de duas cremalheiras. Existe um carro acoplado movimentado também numa cremalheira para movimentos longitudinais. Nesse carro estão fixos o motor e o sistema de fixação do disco. O sistema de fixação do disco possui a capacidade de baixar ou elevar o disco.

Com estas características as máquinas de ponte conseguem movimentar o disco nos eixos de coordenadas (X,Y,Z).

As máquinas de ponte são comandadas através de um quadro de comando, nele são colocadas as tabulações necessárias aos cortes desejados.

Nos quadros de comando existe um monitor que mostra as movimentações do disco em X,Y e Z.

Este método permite cortar chapas sobrepostas, cortando o disco espessuras entre 10 cm e 14 cm, geralmente. O número de chapas cortadas simultaneamente depende, portanto da espessura das mesmas. Por exemplo, se as chapas tiverem 2 cm, serão cortadas entre 5 a 7 chapas ao mesmo tempo.

As máquinas de CNC são idênticas em termos estruturais para os movimentos nos três eixos (X, Y e Z), mas possuem mais dois eixos (A e C). Esta temática será mais aprofundada num outro capítulo deste trabalho dedicado às máquinas CNC.

Este método de obter bandas a partir de chapas é mais vantajoso do que o procedimento com recurso à multidiscos, porque este último corta uma chapa de cada vez e as bandas necessitam ser depositadas numa palete para serem transportadas para a linha de ladrilho, sendo também necessário pelo menos mais um trabalhador para este trabalho. As bandas que são produzidas nas máquinas de corte seguem para a linha de ladrilho na mesma “estrutura” móvel onde foram cortadas, recorrendo-se a empilhadores conduzidos pelo trabalhador responsável por alimentar a linha de polimento. Estas “estruturas” consistem em mesas metálicas com tampos de madeira, sem pés, adaptadas para serem movimentadas pelos empilhadores. É nelas que são colocadas as chapas para o corte em bandas e, posteriormente, colocadas em local próprio até avançarem para as linhas de ladrilho.



Figura 3.9: Detalhe dos disco existentes na multidiscos, estes podem ser colocados em várias posições, em função da largura das bandas que se pretende obter.

A refiadora (Figura 3.10) permite cortar uma banda com uma determinada espessura em duas com a mesma espessura. Por exemplo, uma banda com 3 cm de espessura pode ser cortada em duas com 1,3 cm, sendo necessário considerar-se a espessura dos discos diamantados utilizados que, normalmente possuem cerca de 3,5mm. Este equipamento é utilizado para aproveitar material excedente, sendo utilizado apenas em algumas ocasiões.



Figura 3.10: Refiadora em funcionamento, é possível visualizar a saída de duas bandas. Existem quatro motores, um para cada disco que corta horizontalmente as bandas.

Obtidas as bandas, estas seguem para a linha de polimento de ladrilho, sendo colocadas nos rolos com auxílio de um sistema de ventosas.

A banda passa pelas três primeiras cabeças (Figura 3.11) que possuem um sistema de afinação, onde é possível baixar ou levantá-las, conforme a pressão desejada sobre a superfície, por forma a uniformizá-la. O desgaste da pedra é feito utilizando pratos calibradores diamantados (Figura 3.12), sendo utilizados na polidora de chapa calços diamantados (Figura 3.13). Assim, a calibração é feita de modo progressivo, onde a primeira cabeça vai retificar, retirando uns milímetros de pedra em excesso que correspondem a irregularidades provenientes da serragem. A segunda cabeça promove a eliminação das irregularidades que persistem, vindas da primeira cabeça de desbaste, e, por último, a terceira cabeça permite colocar a banda com a espessura dentro da tolerância exigida.



Figura 3.11: Três cabeças de calibração equipadas com pratos calibradores munidos de segmentos diamantados.



Figura 3.12: Pratos calibradores diamantados.



Figura 3.13: Calço diamantado.

A banda passa então para a fase de amaciamento, onde esta ação visa tornar a superfície da pedra cada vez mais plana e lisa. No amaciamento são utilizados calços abrasivos do tipo Frankfurt. Estes calços são constituídos por uma mistura de pós abrasivos de várias granulometrias. O número de cada calço está relacionado com o número de grãos que cabem numa determinada área. Esta sequência visa um amaciamento cada vez mais fino, em que o calço seguinte retira os riscos do anterior.

Durante a retificação, calibração e amaciamento é indispensável o uso de água, sendo que nas duas primeiras devido ao uso de diamantes é necessário o respetivo arrefecimento, e no amaciamento, a ausência da água iria provocar a fricção e “queimar” a pedra, degradando a superfície.

Após o amaciamento segue-se o polimento, para isso utilizam-se também calços de polimento do tipo Frankfurt, mas constituídos por ceras, resinas e sabões. Nesta ação utiliza-se menos água para que as resinas derretam, pois esta ação tem como objetivo o preenchimento dos poros das pedras por resinas, de modo a tornar a superfície lisa e brilhante. As cabeças podem ser levantadas individualmente pelo facto de cada uma possuir um motor, sendo assim possível aplicar o tipo de amaciamento e polimento desejados.

A Figura 3.14 mostra os calços utilizados. Sendo que até ao 320 são calços de amaciamento. O calço $\frac{3}{4}$ é um calço de pré-polimento, seguindo-se os calços mais macios. Por último, é utilizado o calço de polimento para conferir o brilho à pedra. No fim do processo de amaciamento ou polimento podem ser utilizados esfregões de limpeza, o de cor vermelha é menos abrasivo, sendo utilizado em calcários menos ríjos, como o Moca Creme, enquanto o de cor azul é mais abrasivo, pelo que é utilizado em calcário mais compactos como a Ataíja ou Azul Atlântico, assim como nos mármores.



Figura 3.14: Sequência de calços utilizados no amaciamento e polimento de rochas ornamentais.

Finalizado o acabamento da superfície, as bandas seguem para uma multidiscos (Figura 3.15) ou para um corta-topos (Figura 3.16). Existem duas polidoras de ladrilhos e, a jusante do polimento, uma está equipada com uma multidiscos e a outra com um corta-topos. Nestes equipamentos, as bandas são cortadas em ladrilhos com as dimensões pretendidas.

Os ladrilhos seguem então para o biselamento e calibração do comprimento e largura. O bisel, ou retificação das arestas, é feito consoante o pedido dos clientes, sendo realizado com recurso a mós diamantadas.



Figura 3.15: Multidiscos.



Figura 3.16: Corta-topos.

Os ladrilhos passam por um secador e terminam o processo na zona de seleção manual (Figura 3.17). Aqui os trabalhadores selecionam os ladrilhos para que num caixote existam ladrilhos de tonalidades idênticas. É também quebrada a aresta com uma lixa, caso o cliente deseje uma aresta pouco acentuada.



Figura 3.17: Seleção Manual.

3.4 Produção de Parapeitos

A produção de parapeitos segue o mesmo processo dos ladrilhos, com a diferença que, após o corte do comprimento das peças, é necessário realizar o acabamento especificado nas “cabeças” das peças (Figura 3.18).

Para tal, as peças passam numa polidora de cabeças (Figura 3.19), sendo o processamento similar ao da polidora tradicional, de superfícies, mas possuindo uma dimensão mais reduzida e no lugar de calços, o acabamento é efetuado com recurso a mós, estando adequada à dimensão das superfícies a polir ou amaciar. Este equipamento tem a capacidade de realizar entalhes e chanfros, já que podem ser utilizados discos em posição vertical e horizontal, podendo ser ajustada a posição onde serão realizados os entalhes e a sua profundidade, assim como a dimensão dos chanfros.

Quando não é requerido o acabamento total da cabeça, como acontece nos topes, este é realizado manualmente.



Figura 3.18: Exemplo de uma "cabeça" no comprimento do parapeito e numa das laterais. Assim como uma pingadeira no tardoz.



Figura 3.19: Polidora de cabeças.

3.5 Polidora de Chapas

O princípio de funcionamento de uma polidora de chapas é análogo ao da polidora de ladrilhos. As chapas são colocadas no tapete por um carregador automático (Figura 3.20), entrando de seguida na calibradora de seis cabeças para retificar a superfície e a espessura (Figura 3.21). As chapas seguem para a polidora onde são amaciadas, polidas ou bujardadas (Figura 3.22). Por fim, são descarregadas por um descarregador automático que as coloca num cavalete, e onde um trabalhador coloca um plástico entre chapas com superfícies acabadas, prevenindo assim, que as superfícies se risquem por fricção.



Figura 3.20: Chapa a ser dirigida por um carregador automático para iniciar o processo de polimento.



Figura 3.21: Calibradora de chapas.



Figura 3.22: Doze cabeças equipadas com calços de amaciamento e polimento que dão o acabamento desejado a cada chapa.

3.6 Produção de peças com medidas personalizadas

Este tipo de trabalhos refere-se a obras onde são utilizadas peças com medidas personalizadas, ou seja, cada peça tem, por norma, uma dimensão única. Para além disso, podem assumir vários formatos a duas dimensões, cujos ângulos poderão ter valores variados (Figura 3.23), pelo que a produção em série utilizando linhas de produção de ladrilhos não é tecnicamente viável, recorrendo-se assim a máquinas de CNC para efetuar o corte das chapas.

As chapas são introduzidas no circuito de máquina por carregadores automáticos com ventosas. É digitalizada uma imagem da chapa, de modo a ser possível distinguir os defeitos e feita a distribuição das peças, tendo em vista o melhor aproveitamento possível. Após o corte, as peças já cortadas avançam no circuito e são retiradas e acondicionadas pelos trabalhadores em caixotes ou paletes de madeira.

Este sistema permite ter em processamento três chapas em simultâneo. Estando uma a ser digitalizada para o sistema informático, onde é feita a projeção da disposição das peças a cortar, outra é cortada e uma terceira (já dividida em peças cortadas) é descarregada.



Figura 3.23: Exemplo de peças octogonais cortadas nas máquinas CNC.

3.7 Produção de peças perfiladas

Nesta tipologia, incluem-se peças com formas variadas, como bases de duche, tampos de cozinha e de casa de banho, capeamentos, baixos e altos-relevos, e artigos perfilados (Figura 3.24).

De maneira geral são projetos com um elevado grau de personalização, sendo analisados individualmente para definir o procedimento mais adequado para a realização dos mesmos.

As peças em bruto poderão ser de vários tamanhos. Podendo provir de blocos de pequenas dimensões serrados nas monolâminas ou monofios, chapas de espessuras variadas ou de peças cortadas nas máquinas de corte.

As peças são colocadas nas mesas das máquinas de CNC para serem maquinadas segundo as instruções de um programa previamente elaborado. O processo referente ao funcionamento das máquinas CNC será desenvolvido num capítulo específico deste trabalho.



Figura 3.24: Máquina CNC em trabalho de perfilagem de peças.

Os granitos e rochas similares são recebidos em chapa, utilizando-se discos e fresas adequados para o corte deste tipo de pedra. Nas Figuras 3.25 e 3.26 é possível observar os diferentes segmentos diamantados utilizados nos discos de corte de granitos e mármores.



Figura 3.25: Exemplo de segmentos diamantados utilizados para o corte de granitos e rochas similares.



Figura 3.26: Exemplo de segmentos diamantados utilizados para o corte de mármores e rochas similares.

3.8 Acabamentos Manuais

A secção de acabamentos manuais (Figura 3.27) é indispensável para a finalização adequada dos vários tipos de peças produzidos, conferindo qualidade superior e personalidade às pedras naturais. Aqui os acabamentos são executados através de processos artesanais e adaptados a cada exigência do cliente e das características do material. Este trabalho minucioso garante que cada peça sai da fábrica com um nível de detalhe e perfeição que as máquinas, por si só, não conseguem alcançar.



Figura 3.27: Acabamentos manuais.

3.9 Tratamento e Reciclagem de Águas

A utilização de água é indispensável para a serragem, corte e acabamento das pedras naturais, pois reduz a emissão de poeiras e é o elemento refrigerante das ferramentas e das rochas durante os processos de transformação. Como tal, torna-se imprescindível a reutilização deste recurso, não só por motivos económicos, mas também ambientais. Apesar de não fazer parte do processo de transformação, é um dos sistemas de apoio mais importantes para o processamento deste tipo de material, justificando-se assim, a explicação sucinta deste sistema.

Da Figura 3.28 consta o fluxograma, onde se observa as etapas necessárias para o tratamento da água antes de ser reutilizada. A água é recolhida e canalizada por um sistema de valas que se estende por toda a fábrica, abrangendo todas as máquinas que utilizam água no seu correto funcionamento. Esta água é encaminhada para um único poço, que possui no fundo duas bombas, que bombeiam a água para o depurador (Figura 3.29).

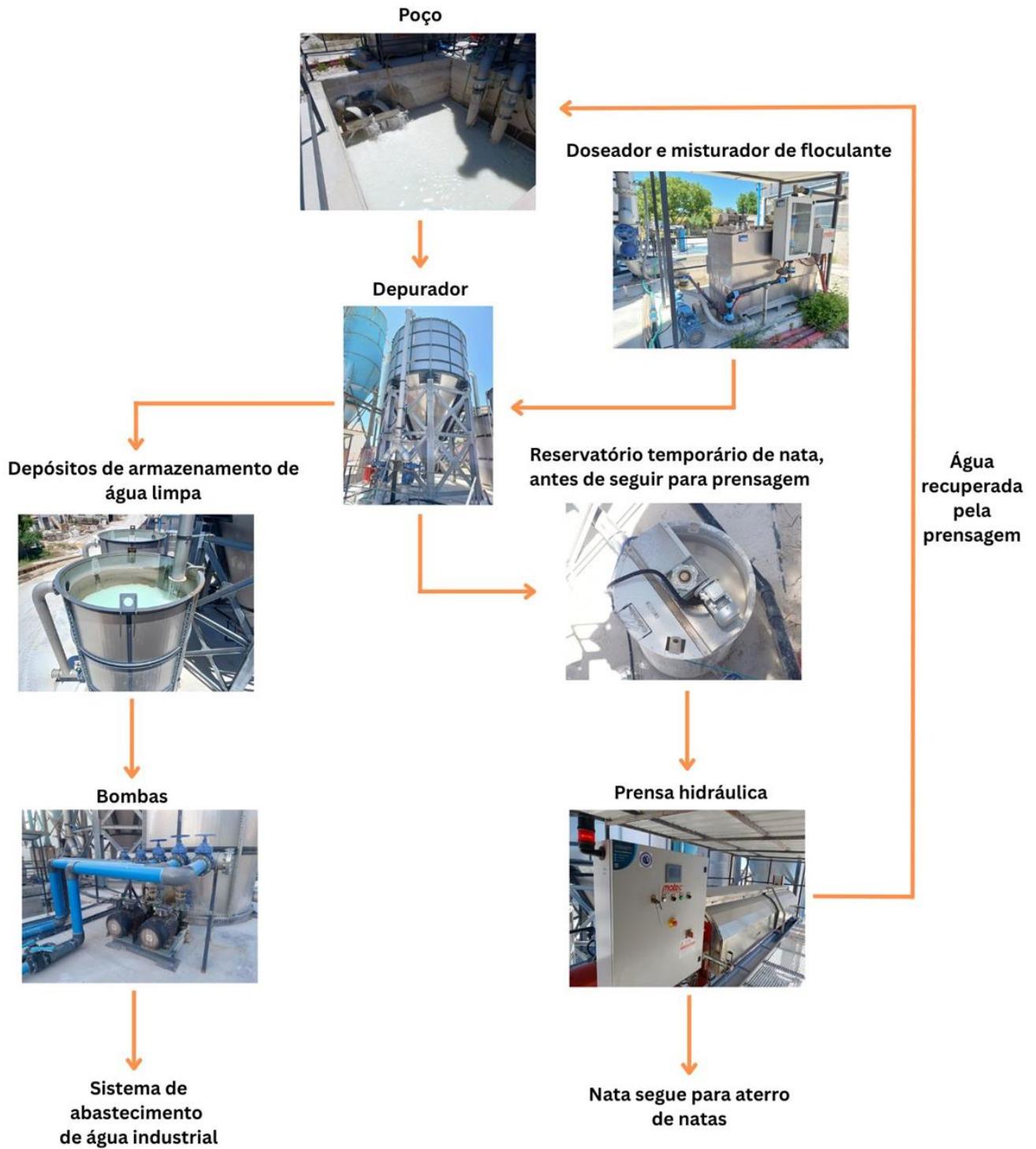


Figura 3.28: Fluxograma do processo de tratamento e reciclagem de água.



Figura 3.29: Poço coletor de águas industriais. A água vinda das instalações fabris entra no poço pelas duas tubagens da esquerda. No fundo, encontram-se duas bombas que encaminham a água para o depurador pelos dois tubos da direita.

No depurador (Figura 3.30) é adicionado um floculante à base de poliacrilamida aniónica, que pode ser adicionado manualmente ou através de um doseador automático (Figura 3.31). Este último recolhe uma amostra da água e, através de um feixe de luz, identifica o grau da turbidez da água, definindo a dose de floculante necessária para fazer precipitar a carga sólida e torná-la límpida. Dentro do depurador a água e o floculante misturam-se, e as partículas em suspensão na água aglutinam-se às partículas de floculante. São então originadas partículas maiores e mais pesadas, que precipitam na secção cónica do depurador, ficando a água mais limpa, sobrenadante na parte superior.



Figura 3.30: Depurador.



Figura 3.31: Doseador e misturador de floculante.

A partir da zona superior, a água sai por transbordo, constituindo o *overflow*, sendo direcionada para dois depósitos de armazenamento de água limpa (Figura 3.32), ficando pronta para recirculação. Com o auxílio de duas bombas (Figura 3.33) que garantem a pressão adequada na rede de alimentação, a água é reintroduzida no sistema de canalização da fábrica e reutilizada no processamento de rochas.



Figura 3.32: Depósitos de armazenamento de água limpa.



Figura 3.33: Bombas.

Na parte inferior do depurador encontra-se a água com elevada concentração de partículas, a que se chama “nata”. Esta nata sai por *underflow*, sendo conduzida por um tubo até um pequeno reservatório temporário (Figura 3.34), onde é constantemente agitada por uma hélice, para evitar que seque. Em seguida, é bombeada para a prensa (Figura 3.35), sendo comprimida com o objetivo de extrair a maior quantidade de água possível. A água extraída retorna ao poço, enquanto a nata é despejada num “dumper” para ser encaminhada para um aterro de lamas.



Figura 3.34: Reservatório temporário de nata, antes de seguir para prensagem.



Figura 3.35: Prensa hidráulica.

Capítulo 4 Máquinas CNC

4.1 Resenha Histórica

A evolução do Controlo Numérico Computadorizado (CNC) está intimamente ligada ao progresso tecnológico que marcou a história da produção industrial ao longo dos séculos.

A figura 4.1 ilustra o primeiro torno, construído em madeira (Youssef & El-Hofy, 2021), exemplificando a natureza rudimentar dos processos de manufatura.

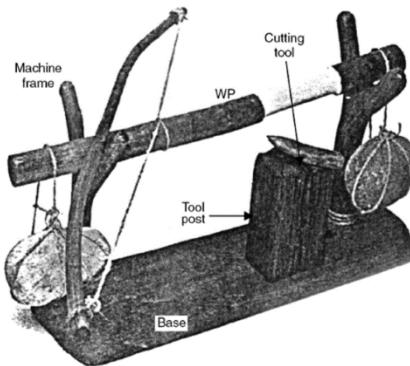


Figura 4.1: Primeiro torno de madeira.

O conceito de automação de máquinas através de comandos programados teve as suas primeiras manifestações no século XIX, com o desenvolvimento do tear de Jacquard, criado por Joseph Marie Jacquard. Este equipamento revolucionou a indústria têxtil ao utilizar cartões perfurados para determinar os padrões de entrelaçamento dos fios, sendo considerado o primeiro sistema a utilizar o princípio de controlo numérico (Bragagnolo, 2018).

No início do século XX, Herman Hollerith viria a aperfeiçoar essa lógica com o desenvolvimento de um sistema de processamento de dados baseado em cartões perfurados, o qual foi utilizado no recenseamento populacional dos Estados Unidos (Souza, 2018). Estas inovações demonstraram o potencial da automação através da leitura de dados codificados, abrindo caminho para aplicações mais complexas.

Contudo, foi apenas após a Segunda Guerra Mundial que a necessidade de produção em larga escala, com precisão e eficiência, impulsionou de forma decisiva o desenvolvimento das tecnologias de controlo automático. Em 1952, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), foi criado o primeiro protótipo funcional de uma máquina com Controlo Numérico (CN), através da adaptação de uma fresadora com servomotores, sendo os dados de entrada fornecidos por uma fita perfurada. Esta máquina conseguiu realizar

operações repetitivas com precisão, sem necessidade de intervenção direta do operador, demonstrando uma inovação disruptiva para a indústria de fabrico (Souza, 2018).

Com o avanço da informática, o Controlo Numérico evoluiu naturalmente para o Controlo Numérico Computorizado (CNC), introduzindo o uso de computadores no comando das máquinas-ferramentas. Ao contrário dos sistemas CN, que apenas executavam as instruções de forma sequencial, os sistemas CNC permitem o armazenamento de dados, a edição de programas e a integração com softwares de projeto (CAD) e fabrico assistido por computador (CAM). Esta transição representou um salto qualitativo na automação industrial, proporcionando maior flexibilidade, precisão e eficiência nos processos produtivos (Souza, 2018). Uma máquina CNC é então, um equipamento operado por um computador que interpreta códigos numéricos para controlar o movimento de ferramentas e realizar operações precisas de fabricação. Esses sistemas são usados em processos como fresagem, torneamento, corte e perfuração. Ao automatizar tarefas, as máquinas CNC oferecem alta precisão, repetibilidade e eficiência, reduzindo a necessidade de intervenção humana direta (Edwards, 2023).

Tendo primeiro surgido, a partir da experiência da Parsons Corporation, uma pequena empresa especializada no fabrico de hélices e rotores para helicópteros. Em 1946, a empresa implementou, de forma pioneira, a ideia de controlar uma máquina de maquinagem convencional por meio de informações numéricas armazenadas em cartões perfurados, que eram processadas por um computador. Esse desenvolvimento marcou o início da automação na operação de máquinas-ferramenta (Orlando & Filho, 2021).

As operações de manufatura têm recorrido com sucesso ao uso do CNC. Com os constantes avanços tecnológicos, muitos sistemas estão a ser integrados com este tipo de controlo, sendo utilizado em máquinas, como cortadoras a laser, máquinas de costura ou de bordar, impressoras industriais, equipamentos de montagem eletrónica, sistemas industriais, entre outros (Orlando & Filho, 2021).

Atualmente, o CNC é uma peça-chave no contexto da Indústria 4.0, caracterizada pela digitalização dos processos produtivos, pela interligação de sistemas e pela utilização de inteligência artificial e análise de dados em tempo real. A sua aplicação estende-se desde as indústrias metalomecânicas até setores como a eletrónica, têxtil, automóvel e aeroespacial. O CNC contribui decisivamente para a automação, o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos e a redução dos custos operacionais (Couto, 2019).

Em suma, a trajetória histórica do CNC ilustra a forma como a tecnologia tem moldado e continuará a moldar a indústria, sendo um elemento indispensável na busca por inovação, competitividade e sustentabilidade no contexto produtivo contemporâneo.

Este tipo de máquinas apresenta vantagens e desvantagens; entre os benefícios estão a alta precisão, repetibilidade e automação; as limitações incluem o custo inicial elevado e a necessidade de operadores qualificados em programação e manutenção (Edwards, 2023).

Além das aplicações já consolidadas em diversos ramos da indústria, é importante destacar que o CNC também tem sido progressivamente implementado no setor das rochas ornamentais. Essa adoção tem permitido um avanço significativo nos processos de corte, polimento, gravação e maquinagem dessas matérias-primas, tradicionalmente associadas a técnicas artesanais e operações manuais.

A integração de máquinas CNC nesse setor viabilizou a produção de peças com geometrias complexas, padrões personalizados e um nível de precisão difícil de atingir com métodos convencionais. Além disso, a automação proporcionada por estas tecnologias resultou em melhorias na produtividade, repetibilidade e aproveitamento de material, contribuindo também para a redução de desperdícios e o aumento da sustentabilidade nos processos (ÖZ & ÖZKAN, 2025).

É importante referir que, pela experiência, se pode observar que, nos trabalhos desenvolvidos pela Dimpomar, a repetibilidade dos programas é baixa. Na maioria dos casos, um programa destina-se apenas à fabricação de uma peça. Muitas vezes surgem peças semelhantes, mas não completamente iguais, o que implica a alteração dos programas e a criação de um novo. No entanto, quando surgem projetos com números de peças iguais elevados, os tempos de produção diminuem consideravelmente.

4.2 Equipamentos

O conjunto de máquinas CNC que equipam a Dimpomar é constituído por nove equipamentos da série StoneCut (CEI, 2025), desenvolvidos pela empresa portuguesa CEI, com diferentes modelos e características técnicas que podem ser observadas na Tabela 2.

O primeiro equipamento adquirido em 2011, cujo modelo é o StoneCut 4X Line, possui 4 eixos e uma área de trabalho de 3600 x 2000 mm. Em 2012 foi adquirido o StoneCut Mill-1100 5X, com 5 eixos e área útil de 4000 x 2800 mm, adequado para operações de maior complexidade. Em 2016 foi integrada a máquina StoneCut Mill 5X Line, também com 5 eixos e área de 3600 x 2000 mm. Seguiu-se em 2019 o modelo StoneCut 5X Line, com 5 eixos e

uma área de 3750 x 2200 mm, otimizando a capacidade de corte. Entre 2020 e 2022 foram incorporadas cinco unidades do modelo StoneCut Pro 5X, todas com 5 eixos, apresentando áreas de trabalho de 3600 x 2000.

Estas máquinas, maioritariamente de 5 eixos, permitem elevada flexibilidade e precisão em operações de corte e fresagem de grandes formatos, garantindo capacidade produtiva para diferentes rochas e complexidades geométricas.

Os modelos de máquinas podem ser agrupados em dois conjuntos principais com finalidades distintas. Um dos quais é a gama “Line”, que se refere ao corte de chapas recorrendo a um sistema de visão para marcação de defeitos, leitura e otimização das chapas (CEI, 2025).

Tabela 2: Características das máquinas CNC existentes na Dimpomar.

Características	Modelo	Máquinas								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	StoneCut 4X Line	StoneCut Mill-1100 5X	StoneCut Mill 5X Line	StoneCut 5X Line	StoneCut Pro 5X					
	Ano	2011	2012	2016	2019	2020	2020	2021	2021	2022
	Nº Eixos	4	5	5	5	5	5	5	5	5
	Área de Trabalho (mm)	3600 x 2000	4000 x 2800	3600 x 2000	3750 x 2200	3600 x 2000	3600 x 2000	3600 x 2000	3600 x 2000	3600 x 2000
	Dimensão Eixo Z (mm)	200	1200	800	800	800	950	800	800	1300
	RPM	3000	6000	9000	6000	6000	3000	6000	6000	3000
	Potência Instalada (KW)	25	40	25	30	30	40	30	30	40
	Ruído (db)	78	80	78	78	78	78	78	78	78
	Ø Discos (mm)	250-350	500-1200	250-500	350-725	350-800	500-1200	350-800	350-800	500-1200
	Fresas	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
	Troca Ferramentas	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
	Programação EasyStone	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

A Figura 4.2 apresenta um exemplo da configuração típica de uma StoneCut Line. Na Dimpomar, encontram-se instaladas três máquinas desta tipologia, identificadas na Tabela 2 como máquinas 1, 3 e 4. Estas unidades são dedicadas ao corte de chapas, sendo o respetivo método de funcionamento descrito no subcapítulo seguinte.

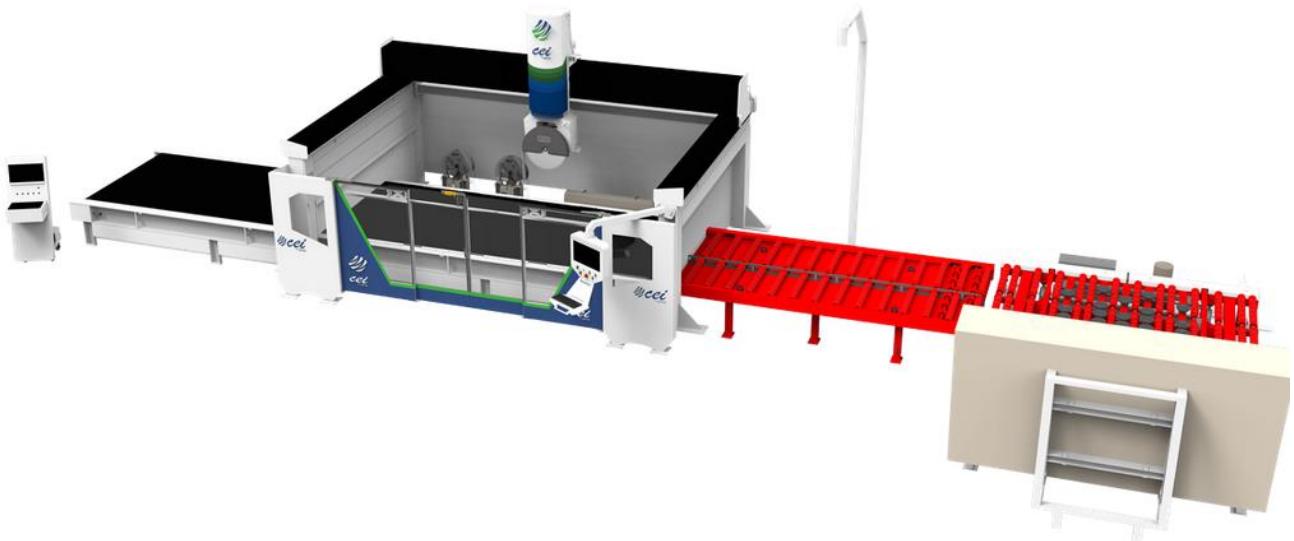


Figura 4.2: Exemplo esquemático geral da composição de uma máquina da gama StoneCut Line (CEI, 2025).

No outro modelo (Figura 4.3) estão englobadas as outras seis máquinas, sendo que as máquinas 6 e 9 têm como objetivo principal o corte de chapas em bandas para alimentar as linhas de ladrilho. As máquinas 2, 5, 7 e 8 são programadas recorrendo ao software EasyStone para trabalhos mais elaborados. De referir que à exceção da máquina 1, todos os outros equipamentos possuem a possibilidade de serem programados por EasyStone, o que permite maior flexibilidade à definição da estratégia de produção da fábrica. Também esta metodologia de trabalho será descrita no subcapítulo seguinte.

É ainda importante mencionar que apenas as máquinas 1, 6 e 9, não permitem a utilização de fresas e somente as máquinas 2 e 3 possuem troca automática de ferramentas (discos e fresas). Nas restantes a substituição de ferramentas é efetuada manualmente pelo operador, sendo a acoplagem das fresas obtida através de roscas $\frac{1}{2}$ gás (rosca cilíndrica com um diâmetro aproximado de 21 mm) (Figura 4.4). Enquanto a fixação das ferramentas de corte nas situações de troca automática de ferramentas é obtida graças à fixação de cones no motor das máquinas (Figura 4.5).



Figura 4.3: Exemplo genérico de uma StoneCut Mill (CEI, 2025).



Figura 4.4: Rosca ½ gás para acoplagem de fresas manualmente.

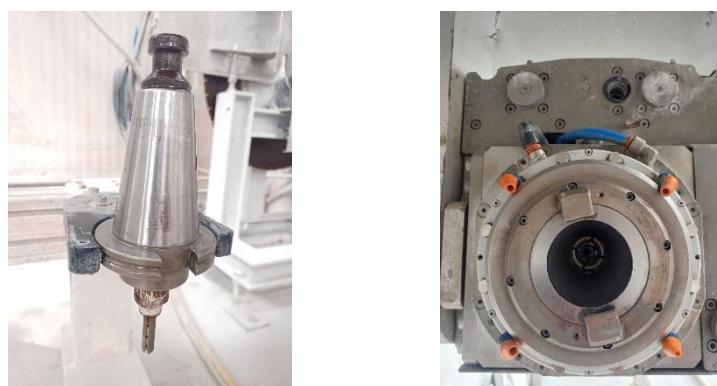


Figura 4.5: Cone de fixação de ferramentas (esquerda) ao motor das Máquinas CNC (direita).

4.3 Princípios Básicos de Funcionamento

Todos os equipamentos assentam no mesmo princípio estrutural, dois barramentos paralelos, sobre os quais se desloca uma trave perpendicular. A ela está acoplado um carro equipado com o motor que permite a rotação das ferramentas necessárias à maquinação das pedras naturais. Isto pode ser observado na Figura 4.6, assim como as direções de movimento que correspondem a cada eixo. Podemos imaginar que o espaço interior das máquinas é um sistema de coordenadas cartesianas tridimensional, correspondendo aos eixos X, Y e Z. Referindo-se o eixo X aos movimentos ao longo do comprimento da máquina, o eixo Y ao longo da profundidade e o eixo Z ao movimento vertical. O eixo A é o movimento rotativo em torno do eixo X e o eixo C o movimento rotacional em torno do eixo Z.

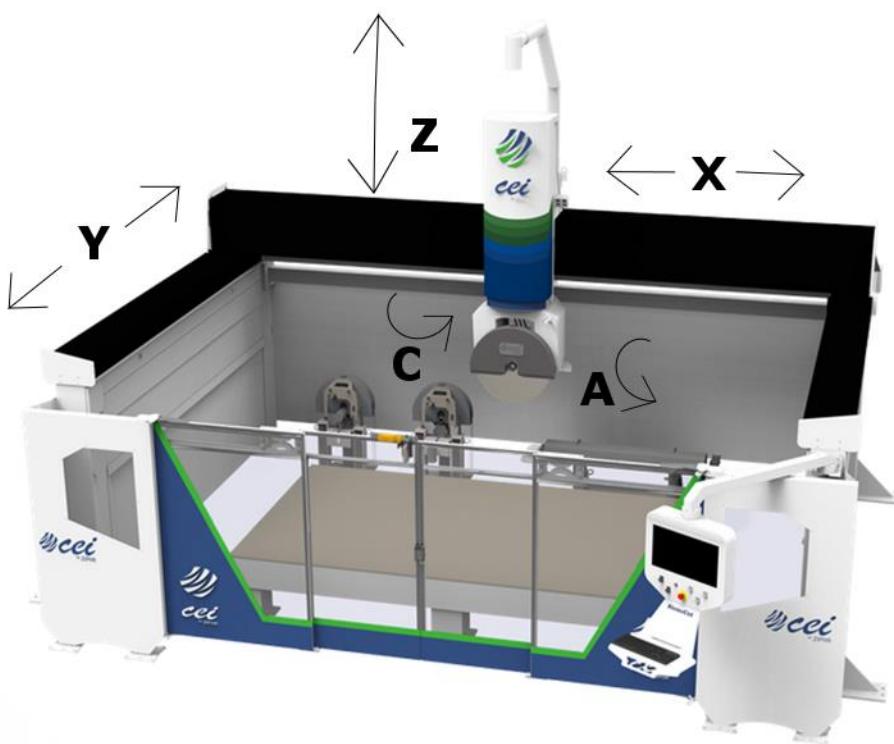


Figura 4.6: Indicação dos sentidos de deslocação em cada um dos cinco eixos de movimento (CEI, 2025).

4.3.1 Sistema de Visão

A Figura 4.7 ilustra um sistema automatizado para o processamento de chapas de pedra natural, constituído por diferentes módulos que asseguram a movimentação, análise, corte e descarga do material de forma eficiente e segura. O processo inicia-se com o carregador de chapas automático (Figura 4.8), identificado com o número 1 na Figura 4.7,

que retira as chapas da zona de armazenamento através de ventosas e as transporta para a máquina de corte, garantindo um manuseamento seguro e ágil. Em seguida, na zona assinalada com o número 2 (Figura 4.7), a chapa avança sobre rolos para ser inspecionada. Nesta fase, são identificados eventuais defeitos, que são assinalados com giz ou outro material de fácil visualização, e é capturada uma imagem digital que servirá de base para a definição da disposição das peças a cortar, com o objetivo de otimizar o aproveitamento do material e evitar áreas com imperfeições. Na Figura 4.9 observa-se, a vermelho, a disposição das peças que serão cortadas nos respetivos locais.

Para preparar a programação dos cortes é utilizado um software desenvolvido pela CEI para programar peças mais simples em 2D, o Minocam. Aqui podem ser desenhadas, ou exportado um ficheiro DXF com o formato das peças a cortar, e podem ser indicadas ações a executar pela máquina, como cortes a 45º ou outras inclinações e profundidades de corte variáveis.

Posteriormente, no módulo identificado com o número 3 (Figura 4.7), é realizado o processo de corte de acordo com o planeamento previamente estabelecido, assegurando precisão dimensional e qualidade na execução (Figura 4.10). Por fim, as peças cortadas são encaminhadas para a zona de descarga, indicada pelo número 4 (Figura 4.7), onde são removidas com o auxílio de uma ponte rolante ou de uma grua bandeira equipada com ventosas e posteriormente referenciadas, permitindo o transporte seguro das peças para as etapas seguintes do processo produtivo (Figura 4.11).

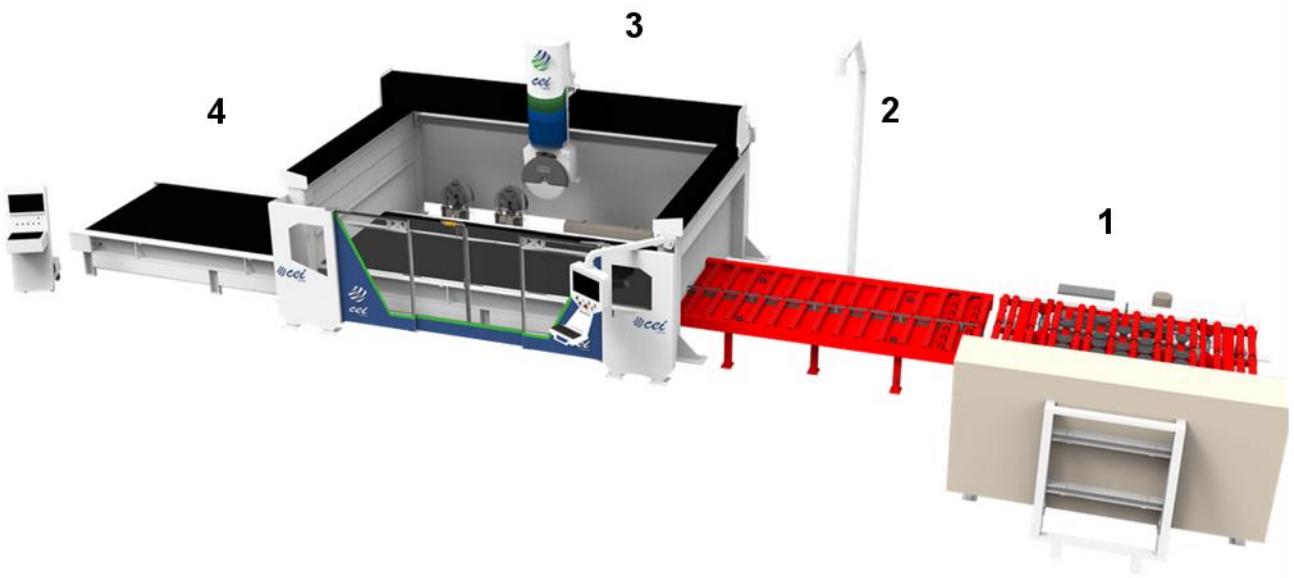


Figura 4.7: Máquina de corte StoneCut Line com a numeração referente a cada módulo: 1 – carregador automático; 2 – digitalização de chapas; 3 – corte e 4 – referenciação e descarga de peças.



Figura 4.8: Carregador de chapas automático.

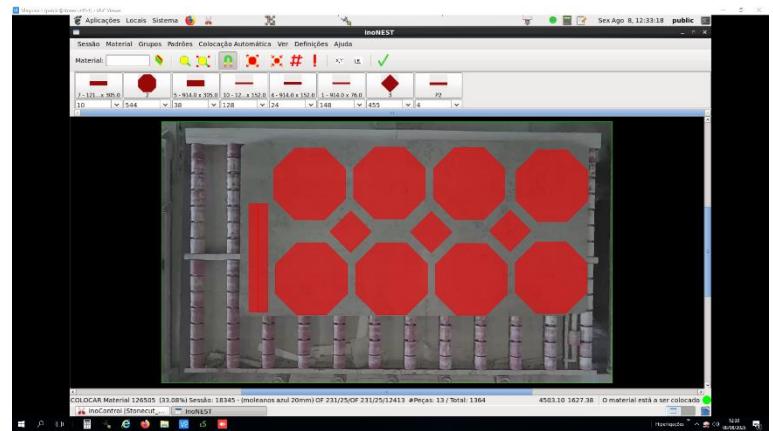


Figura 4.9: Imagem de uma chapa digitalizada com a distribuição das peças a serem cortadas.

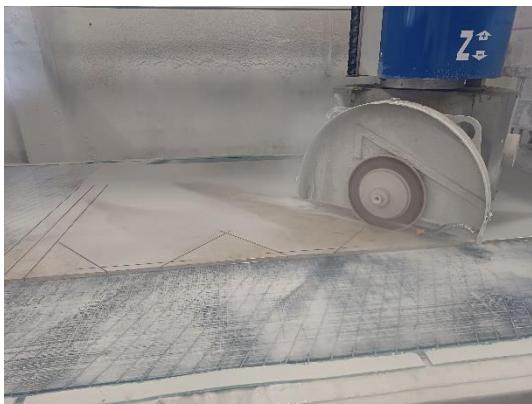


Figura 4.10: Máquina em processo de corte de chapa.



Figura 4.11: Remoção das peças cortadas através de uma ventosa acoplada a uma ponte rolante ou grua bandeira.

4.3.2 Programação EasyStone

Para a criação de um programa que possa ser interpretado pelas máquinas CNC, recorre-se ao software EasyStone (versão 6.912), uma ferramenta CAD/CAM (Computer-Aided Design e Computer-Aided Manufacturing), desenvolvido pela empresa DDX Software Solutions.

O processo de programação começa com a criação 2D ou 3D (dependendo da necessidade) das peças a maquinar. Isto é feito na interface “Draw” do EasyStone (Figura 4.12), onde é possível criar linhas retas, curvilíneas e superfícies que permitem visualizar as peças no espaço e preparar as maquinações necessárias para a sua fabricação. Na figura 4.12 é também possível observar o ponto de origem da referenciação espacial (X, Y, Z), correspondendo a seta vermelha às coordenadas das abcissas, a seta verde às coordenadas das ordenadas e a seta azul às coordenadas verticais.

O EasyStone permite a importação de ficheiros 2D e 3D, sendo os mais usuais os formatos DXF para ficheiros 2D e para os 3D os formatos STL, STEP, OBJ e IGES.

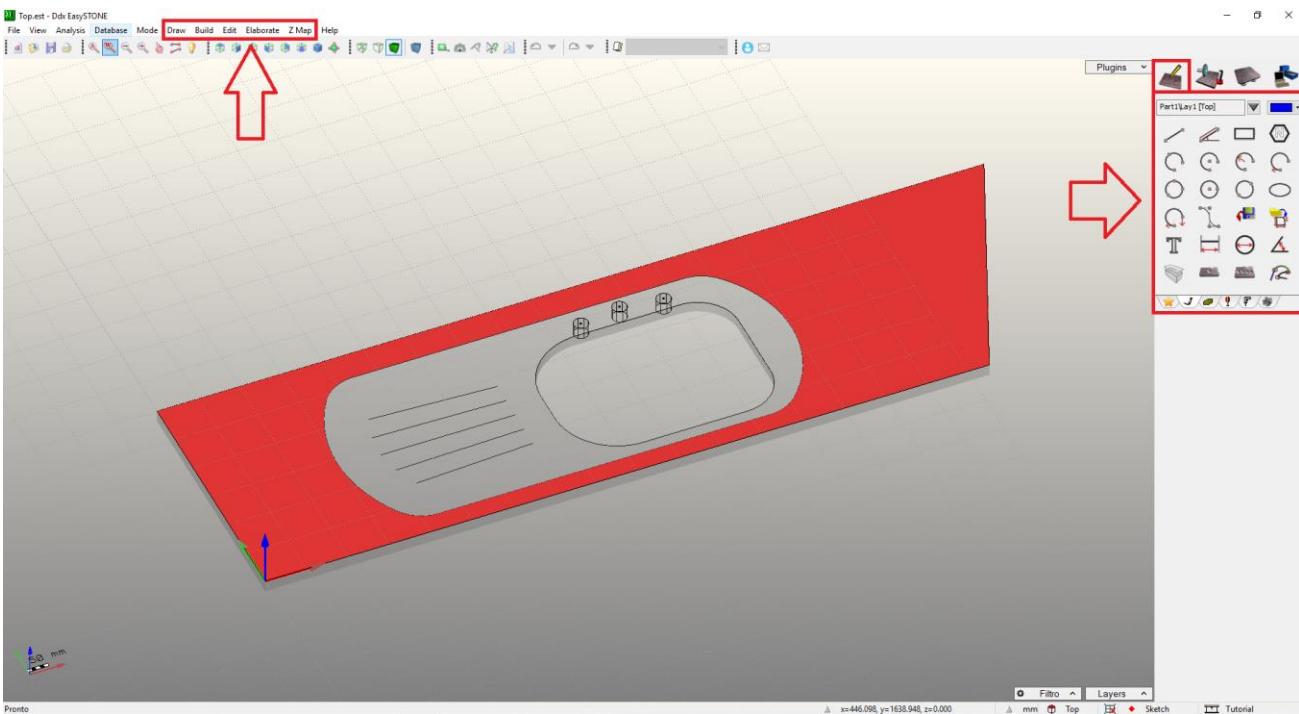


Figura 4.12: Aspetto geral da interface "Draw" do EasyStone. Com destaque para o quadro de operações e a barra de ferramentas que permitem criar as formas 2D/3D (EasyStone, versão 6.912).

Finalizada a criação da peça a maquinar seleciona-se o painel “Machine” (Figura 4.13) e define-se a dimensão da peça em bruto na opção “Box”. Para criar uma maquinação deve ser selecionada uma geometria, que não é nada mais que uma linha, círculo ou superfície que servirá como guia para o percurso da ferramenta. Depois escolhe-se o tipo de maquinação e a ferramenta mais adequada e definem-se as opções referentes aos parâmetros de trabalho.

As ferramentas necessárias ao trabalho têm de ser montadas e medidas, de modo a criar no EasyStone ferramentas com essas características. Para realizar tal tarefa, seleciona-se o menu “Database” e em “Tools” podem ser criadas as ferramentas e definidos os parâmetros a elas associados, como tipo de ferramenta (disco ou fresa), diâmetro, altura no caso das fresas, velocidades de rotação e avanço, entre outras. De seguida, novamente em “Database” e depois em “Kits” é criado o Kit correspondente ao tipo de maquinação que a ferramenta irá executar e associada a ferramenta adequada. Em suma, um Kit é a associação entre um tipo de maquinação e uma ferramenta. Os tipos de maquinação mais utilizados são os cortes com disco (Cut), corte com fresa (Milling), desbaste de superfícies (Surface Rough), acabamento de superfícies (Surface Finish) e maquinação de superfícies em cinco eixos (5-axis Surface Finish).

Na Figura 4.13, destacam-se o quadro amarelo onde surgem as maquinações criadas. No quadro vermelho os “Kits” com as ferramentas disponíveis. E no verde apresenta opções de modificação da peça em bruto, origem e atualização automática das maquinações.

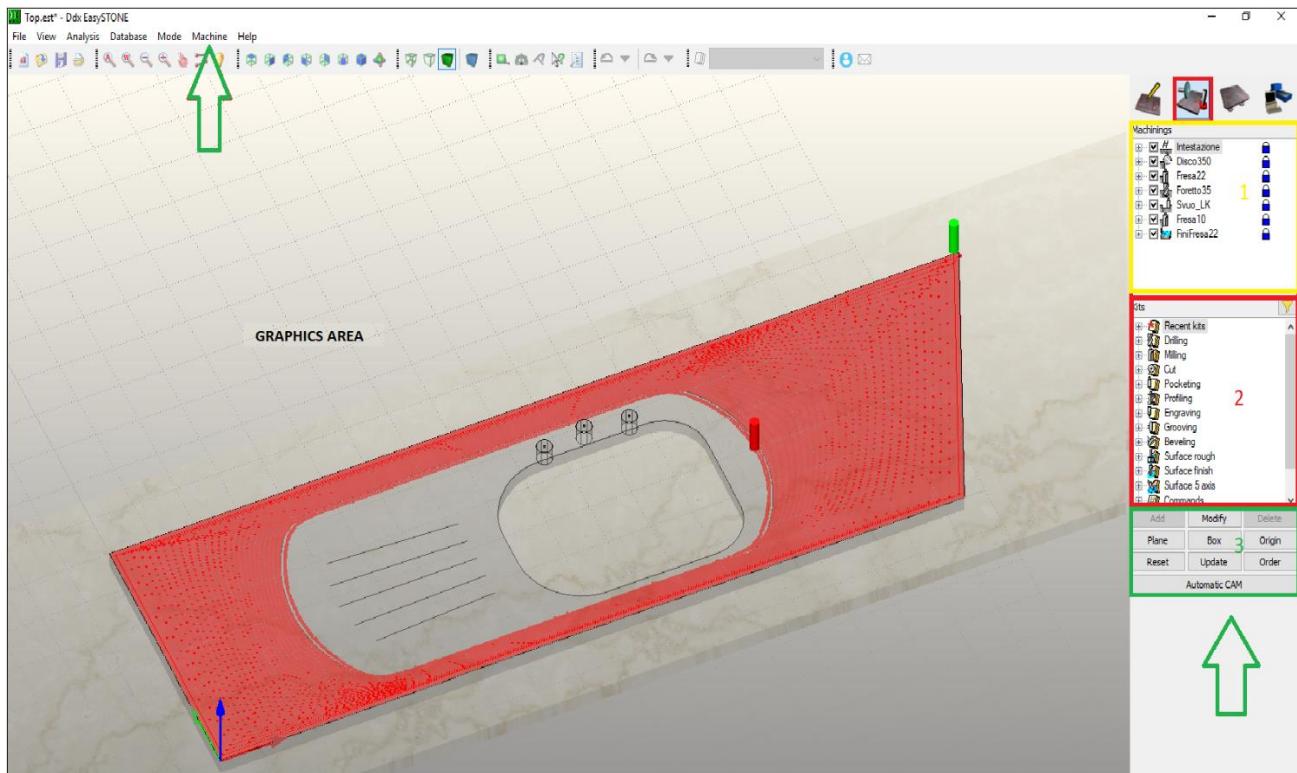


Figura 4.13: Configuração visual do painel "Machine" do EasyStone (EasyStone, versão 6.912).

Tendo concluído as maquinações necessárias para a obtenção da peça, segue-se para uma terceira fase, a disposição da peça na mesa de trabalho. Seleciona-se o menu “Dispose” (Figura 4.14) e coloca-se a peça na posição correta da mesa, sendo indicadas as distâncias entre a superfície da mesa de trabalho e a superfície inferior da peça (tardoz) e a posição X,Y. De referir que as coordenadas X,Y referem-se ao ponto zero da peça, sendo que o programador pode escolher um qualquer ponto da peça para desempenhar esta função. Deve ser tido em atenção que o controlador da máquina também possui uma coordenada correspondente ao ponto zero, pelo que ambos os pontos zero - no EasyStone e no controlador da máquina – deverão corresponder ao mesmo ponto da peça.

Após posicionar a peça é executada a verificação que permite detetar colisões com a mesa ou com outras peças, no caso de existirem mais peças sobre a mesa de trabalho. O resultado da verificação surge no quadro de diálogo.

Na Figura 4.14, pode visualizar-se a vermelho o quadro de comando que permite mover, rodar ou eliminar a peça. Assim como, importar peças de outro ficheiro EasyStone, copiar ou espelhar a peça selecionada e verificar a correta disposição das peças. Logo a baixo encontra-se o quadro de diálogo, onde surgem os resultados da verificação.

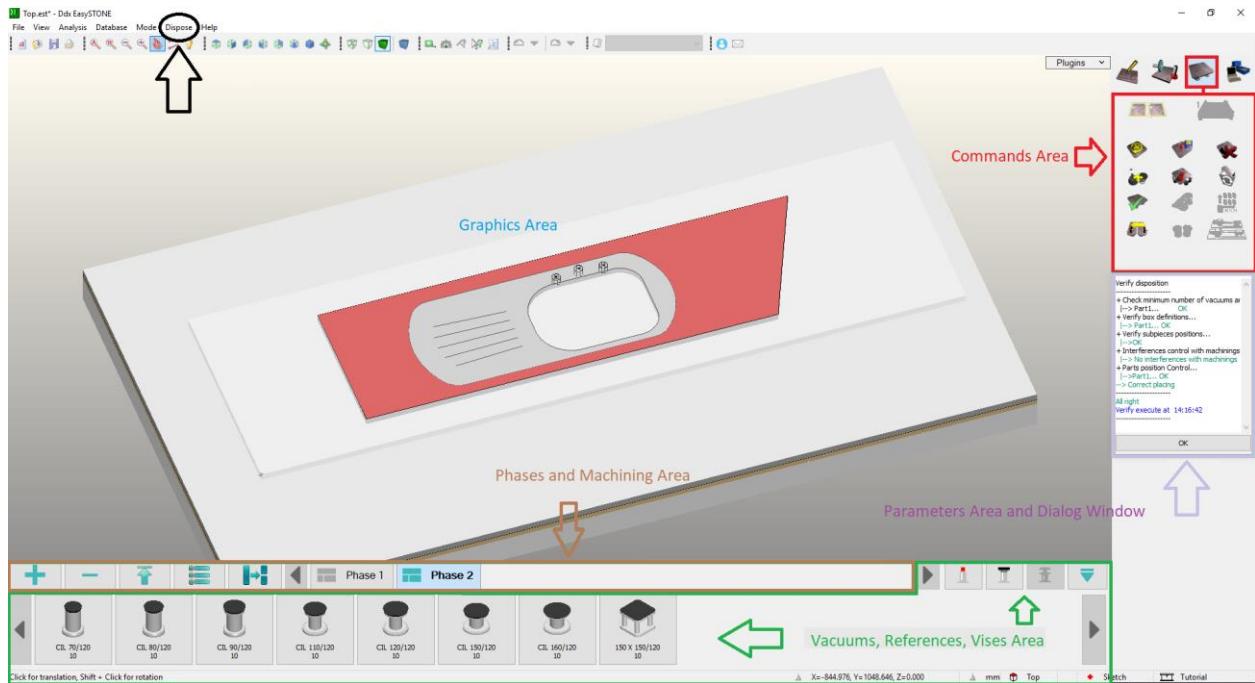


Figura 4.14: Disposição visual do modo “Dispose” (EasyStone, versão 6.912).

Finalmente, no modo “Do it” (Figura 4.15) podem ser executadas simulações do tempo de trabalho da máquina e dos seus movimentos reais. E é feita a geração do programa em código G que será enviado para a máquina.

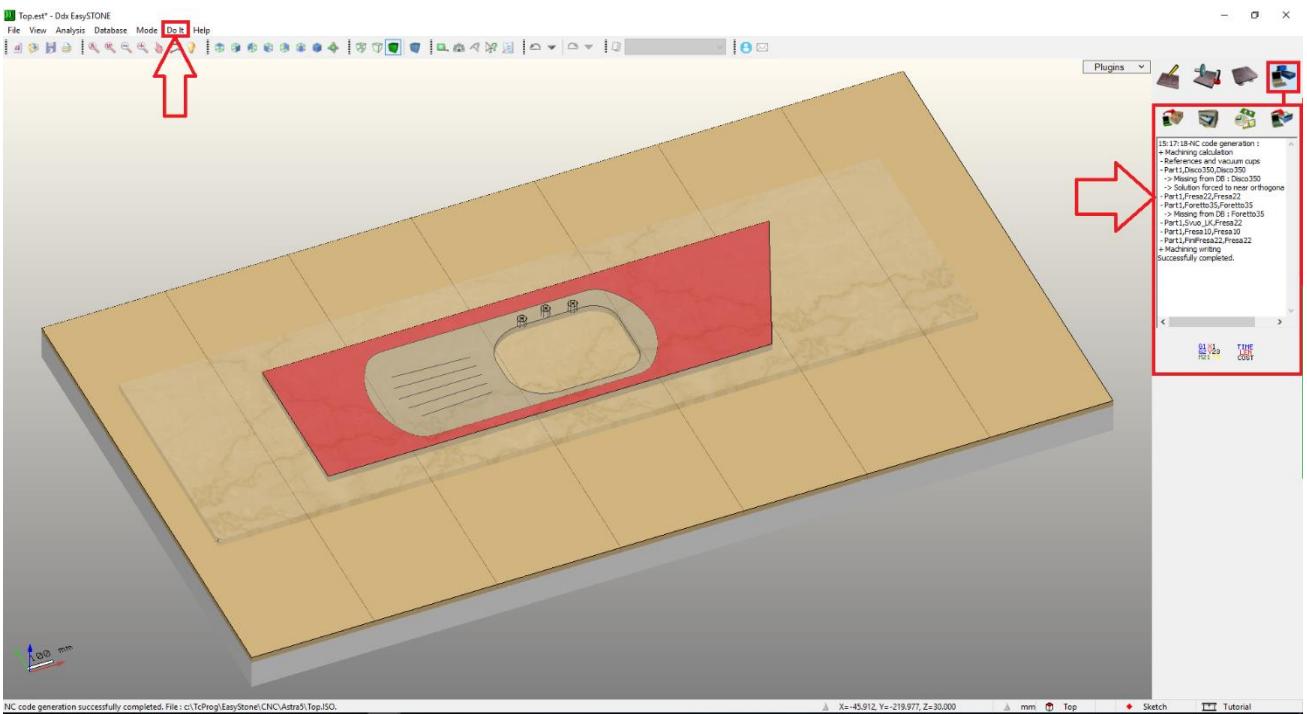


Figura 4.15: Modo "Do it". A vermelho está destacado o quadro de diálogo, onde surgem as mensagens referentes às ações executadas (EasyStone, versão 6.912).

4.3.3 Programação de Uma Peça Exemplificativa

Para melhor compreender este processo, apresentam-se de seguida os passos necessários para preparar um programa de uma peça exemplificativa.

Abre-se o EasyStone, que inicia no modo “Draw” e seleciona-se a opção “Rectangle”, indica-se o ponto de início de desenho do retângulo, e atribuem-se o comprimento e largura, assim como o ângulo se se pretender alguma inclinação (Figura 4.16).

Com o retângulo inferior desenhado e selecionado, move-se uma cópia deste da sua posição atual para a cota Z pretendida, neste caso 150 mm recorrendo à opção “Move” (Figura 4.17).

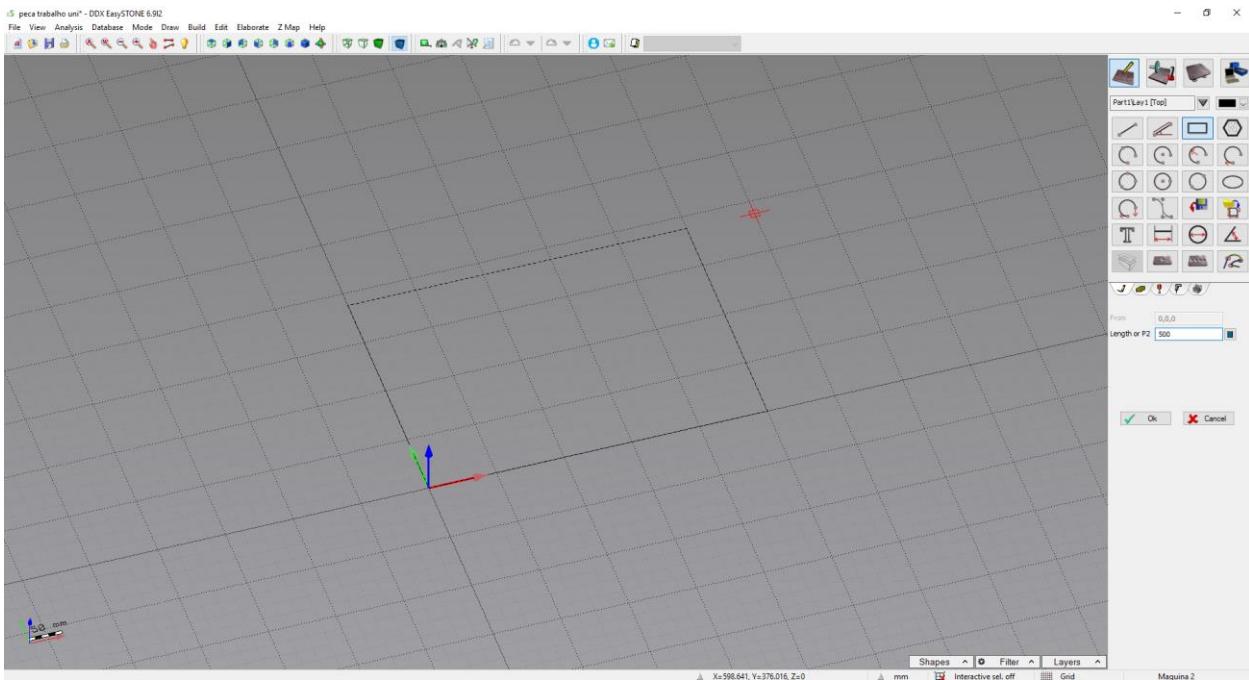


Figura 4.16: Vista da interface "Draw", com a opção "Rectangle" selecionada e a indicação do comprimento na caixa de diálogo.

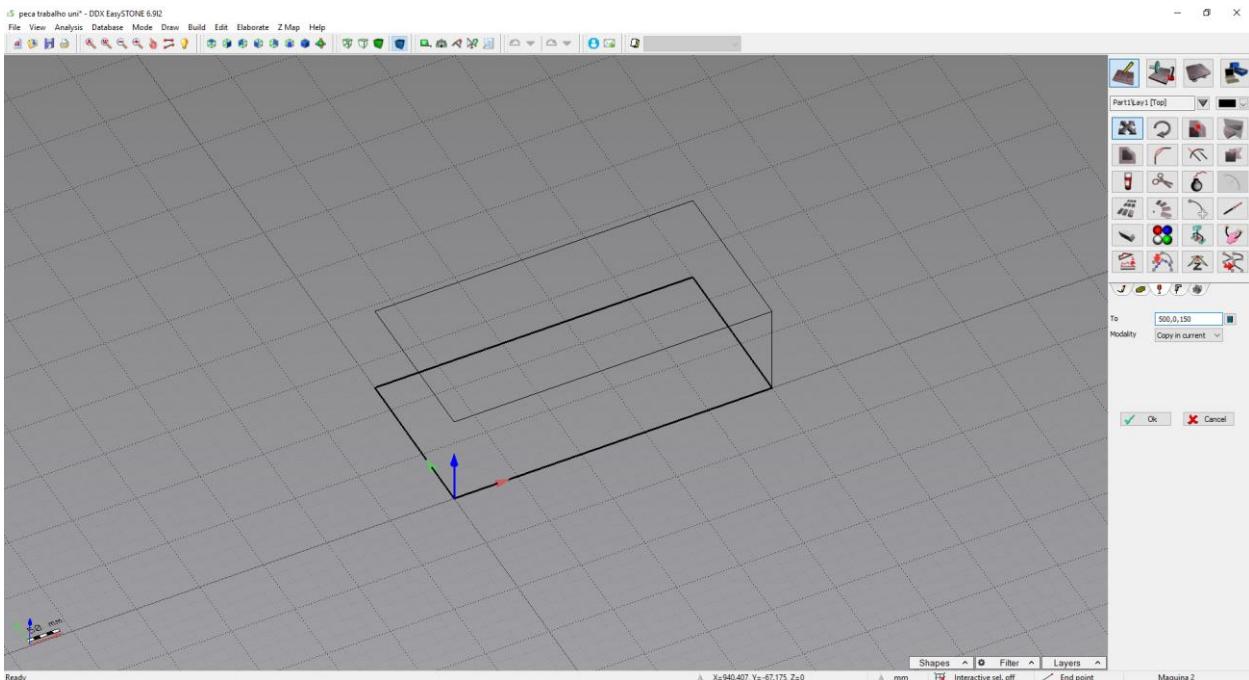


Figura 4.17: Mover uma cópia de um retângulo para 150 mm em Z.

Para desenhar um semicírculo existem várias opções disponíveis, sendo que neste caso optou-se por selecionar a ferramenta “Circ center and points” indicando-se o centro do círculo e o seu raio (Figura 4.18). Como se pretende um semicírculo utilizou-se a opção “Trim/Extend” para cortar a semicircunferência indesejada (Figura 4.19).

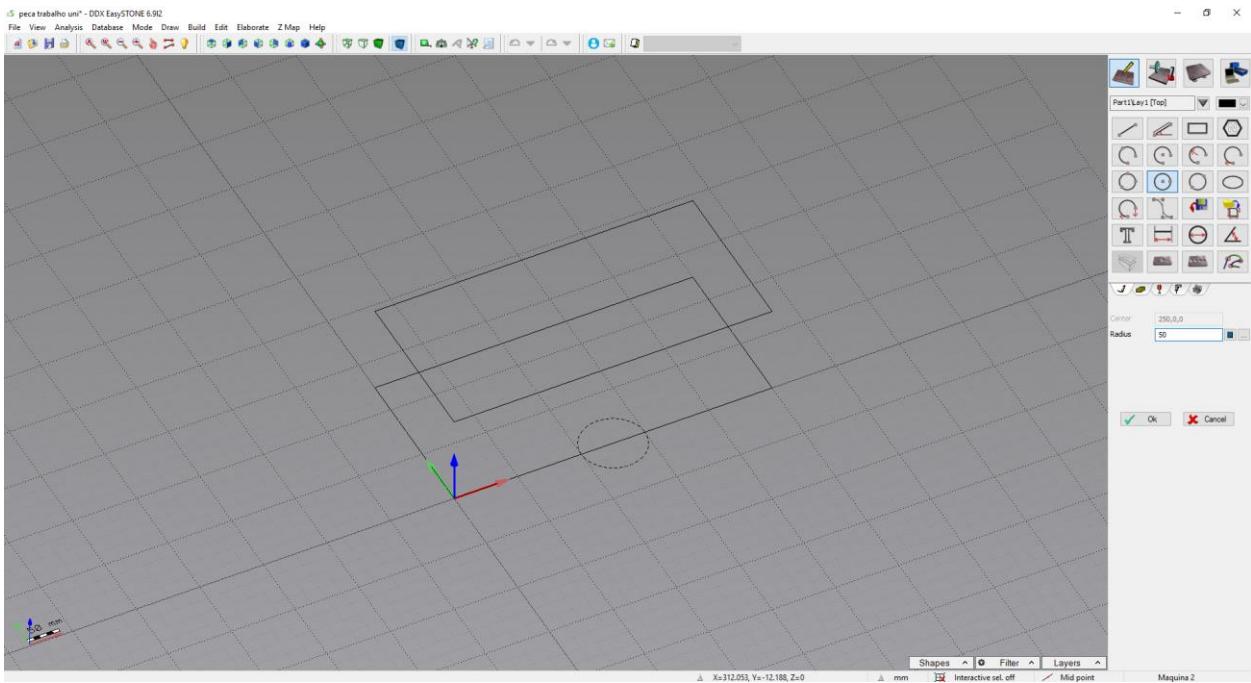


Figura 4.18: Criação de um círculo.

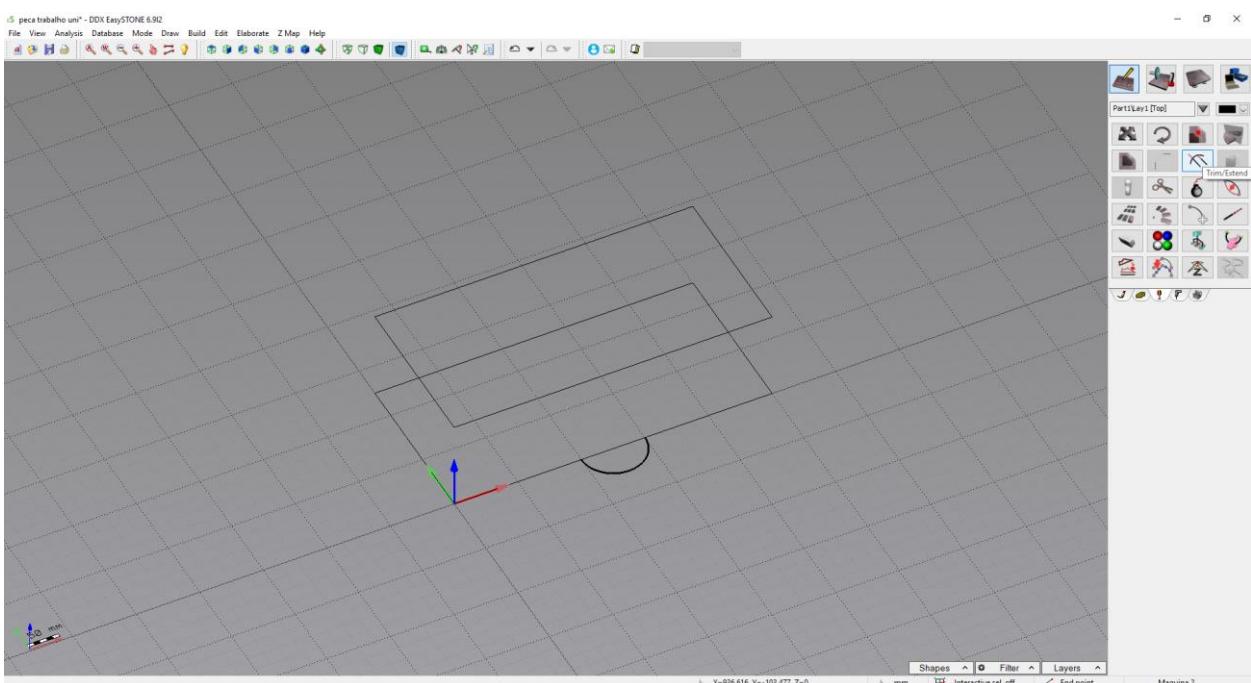


Figura 4.19: Com a opção "Trim/Extend" é eliminada a semicircunferência que não é útil.

Através do comando “Rotate” roda-se o semicírculo em torno do eixo das abcissas 90º (Figura 4.20). Obtido o resultado pretendido move-se a semicircunferência para a sua posição correta no eixo vertical.

Com a opção “Offset” é criada uma linha paralela 75 mm à esquerda da linha selecionada (Figura 4.21). Para finalizar esta fase movem-se e cortam-se as linhas com as

ferramentas já mencionadas anteriormente. E unem-se os vértices recorrendo ao comando “Line 2 points”  que cria uma linha entre um ponto inicial e um ponto final.

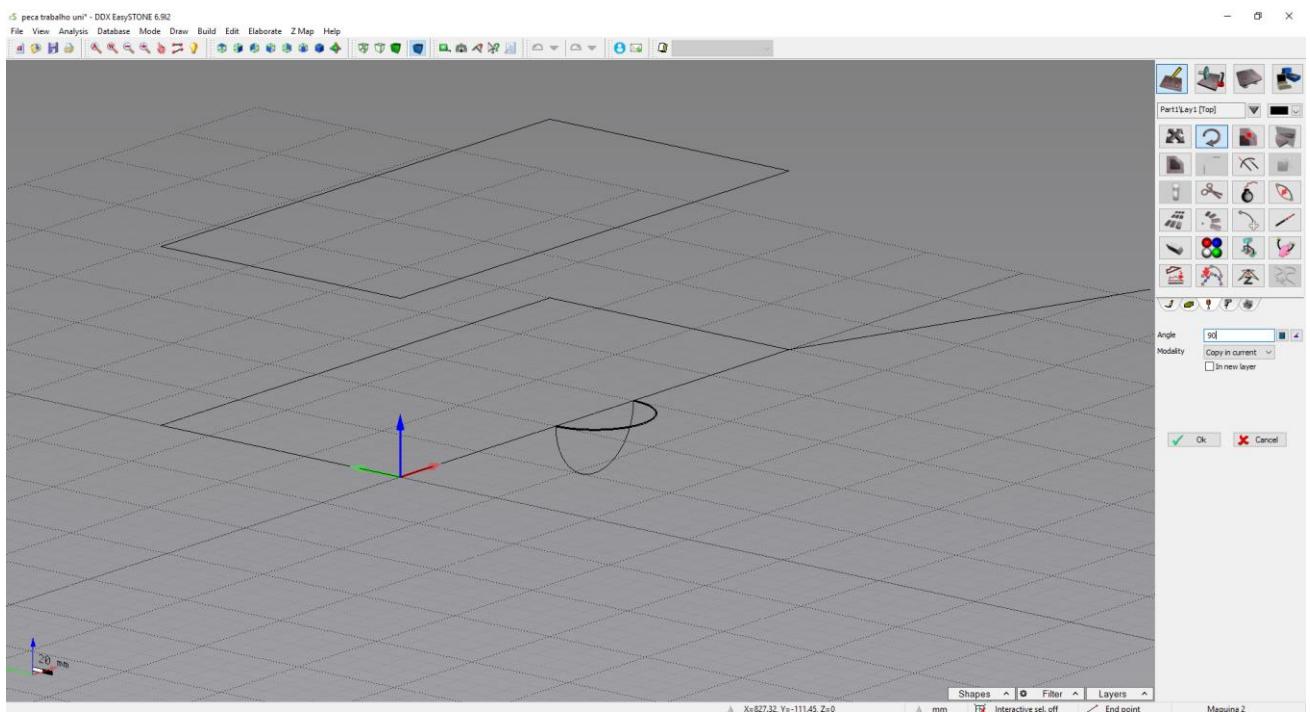


Figura 4.20: Utilizando a opção "Rotate" coloca-se o semicírculo na posição correta.

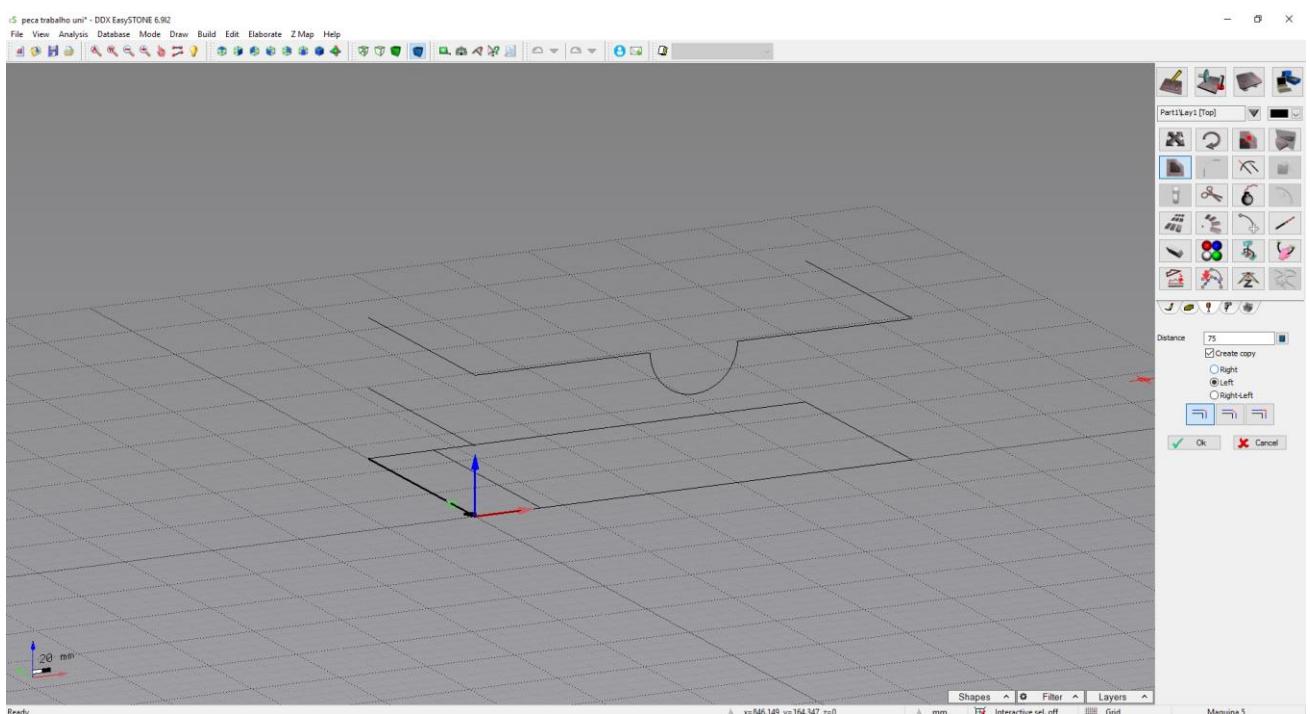


Figura 4.21: Utilização da opção "Offset" para criar uma linha paralela à linha selecionada.

Move-se a secção resultante com a opção “Move” (Figura 4.22), conseguindo-se assim o delineamento 3D das arestas da peça.

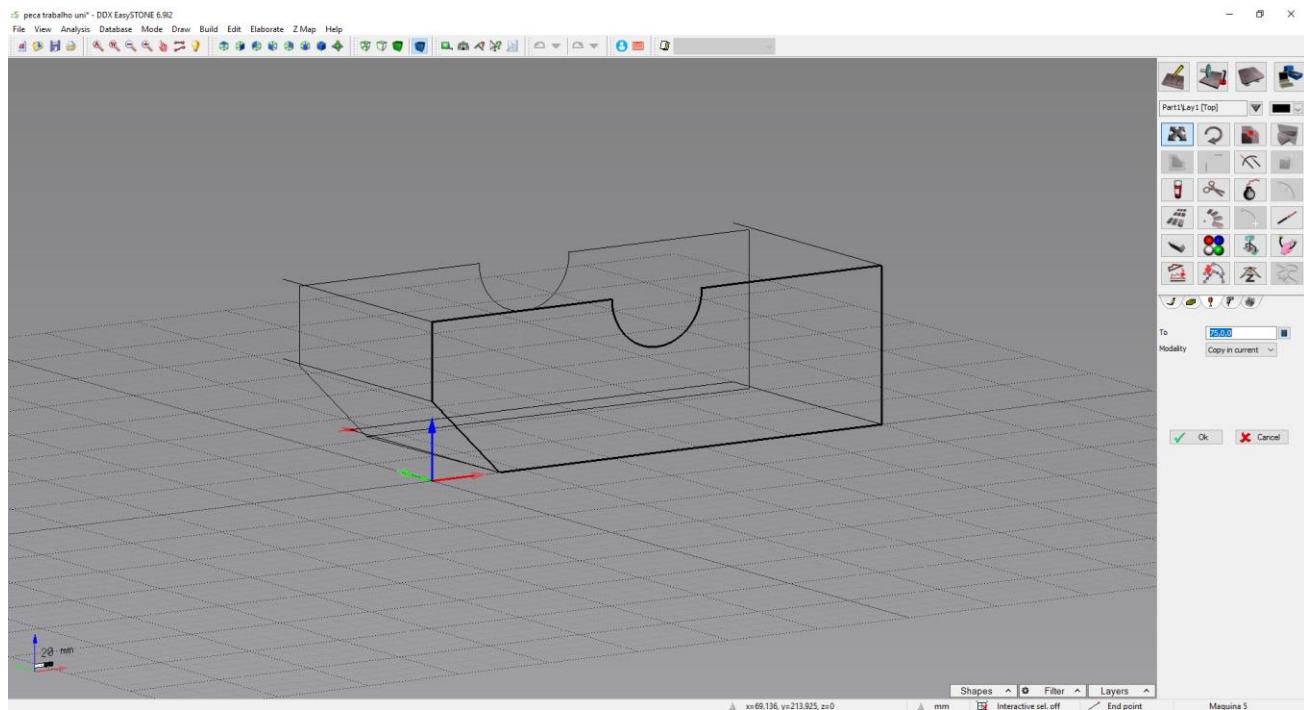


Figura 4.22: Com a ferramenta "move", desloca-se a secção em Y, obtendo-se a estrutura das arestas 3D da peça.

De seguida, procede-se à criação das superfícies, para tal utiliza-se o comando “Loft” que permite criar uma superfície entre duas linhas que não se tocam. Quando a superfície obtida não corresponde ao desejado, pode ser utilizada a ferramenta “Trim Surfaces” para tal, seleciona-se a superfície a cortar, de seguida ativa-se a opção e depois a superfície ou linha que a interceta, servindo como contorno. Isto pode ser observado na Figura 4.23.

Estas ações resultam no desenho 3D que se pode observar na Figura 4.24.

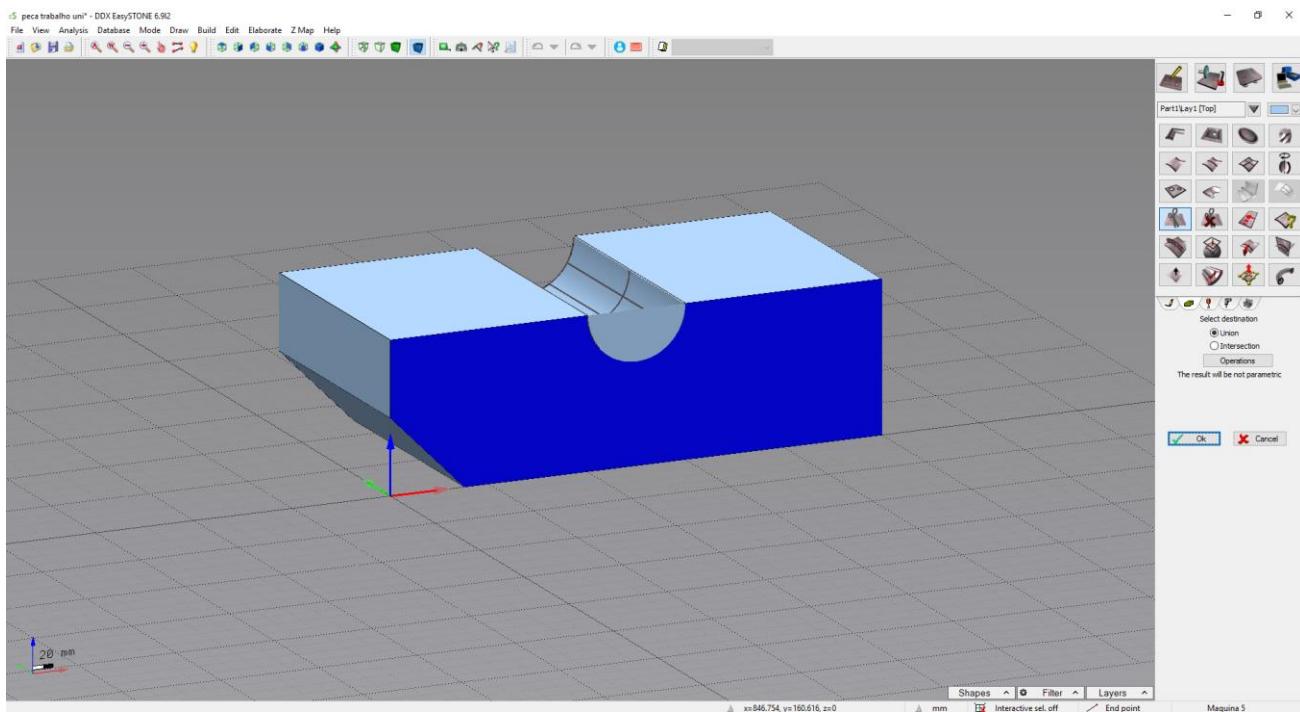


Figura 4.23: Aplicação da ferramenta "Trim Surfaces", sendo a parte azul escuro a que ficará no desenho.

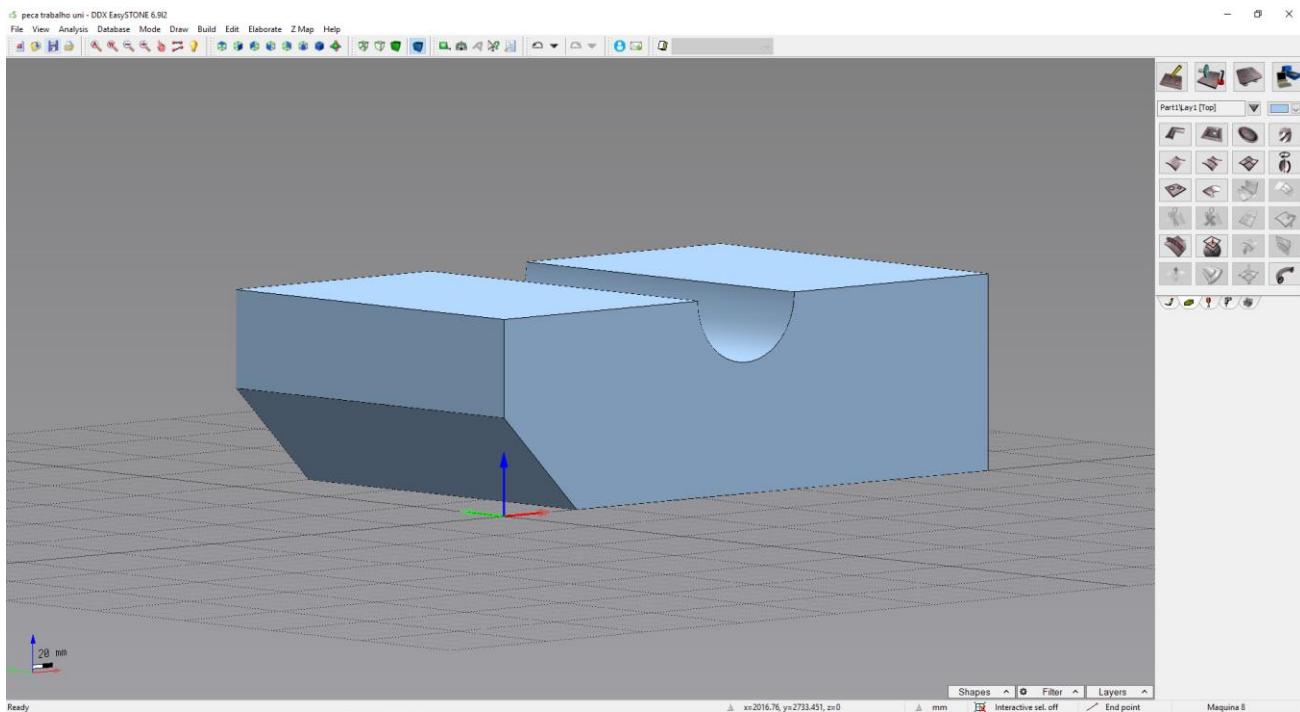


Figura 4.24: Peça 3D após serem criadas as superfícies.

Tendo a peça desenhada avança-se para a criação das maquinações, selecionando-se o modo “Machine”. Sendo o primeiro passo a determinação da “Box”, que se refere às dimensões da peça em bruto, antes de maquinada (Figura 4.25).

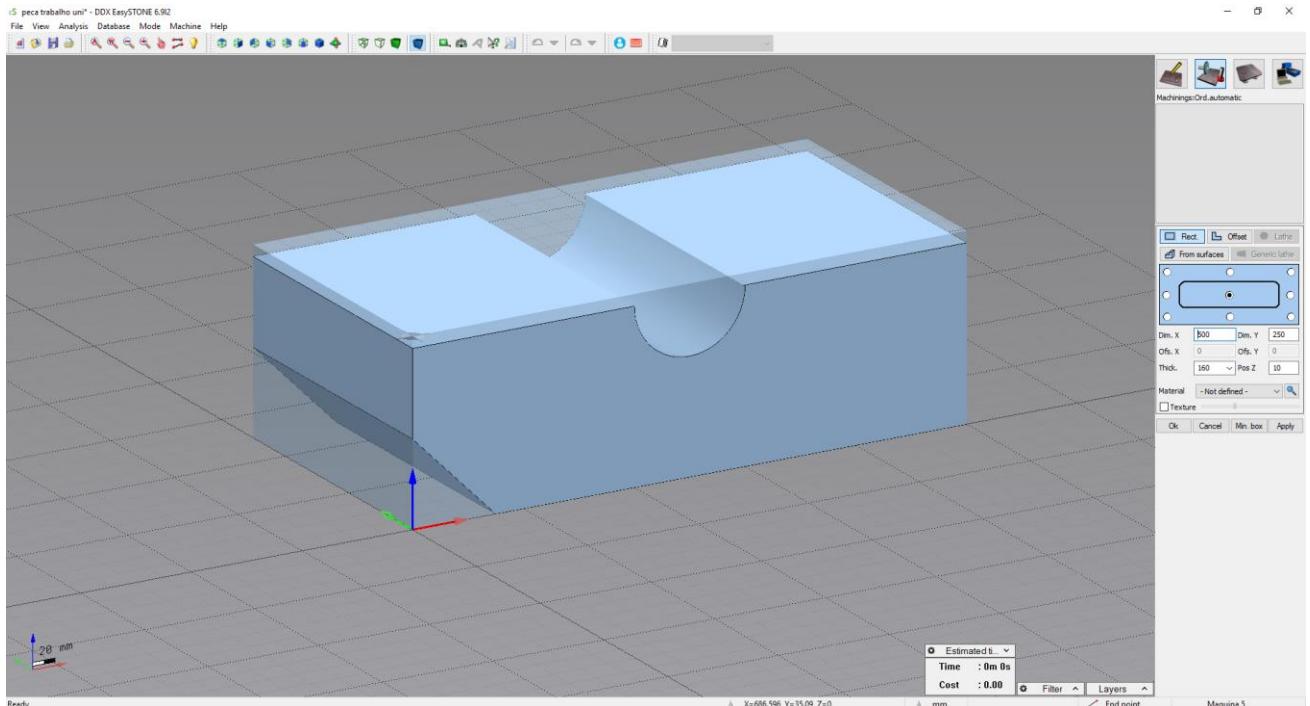


Figura 4.25: Definição da "Box", ou seja, a peça em bruto. Neste caso considera-se que a peça já possui o comprimento e largura desejados, mas tem um excedente de 10 mm na espessura.

Para criar uma maquinação, tem que se selecionar a entidade geométrica (linha, arco, superfície). Nesta situação, pretende-se colocar a peça com a espessura correta, assim seleciona-se a superfície de cima, de seguida o “Kit” “Rough”, ou seja, de desbaste e a ferramenta desejada, “Disco800”, surgindo a interface que se apresenta na Figura 4.26. São estabelecidos os parâmetros de “Dist. Run” de 4 mm, ou seja, a máquina mover-se-á lateralmente 4mm em relação ao corte anterior. Os cortes serão ao longo do comprimento da peça, excedendo este em 20mm, para evitar colisões entre o disco e a peça. Sendo o desbaste realizado em movimentos longitudinais de “ZigZag”. Os golpes terão uma profundidade de 10 mm, relativos ao excedente da peça.

Na barra de ferramentas inferior podem ser modificados outros parâmetros, como as velocidades de rotação das ferramentas, as velocidades de avanço e a possibilidade de deixar algum excesso de material, a ser removido em maquinações posteriores.

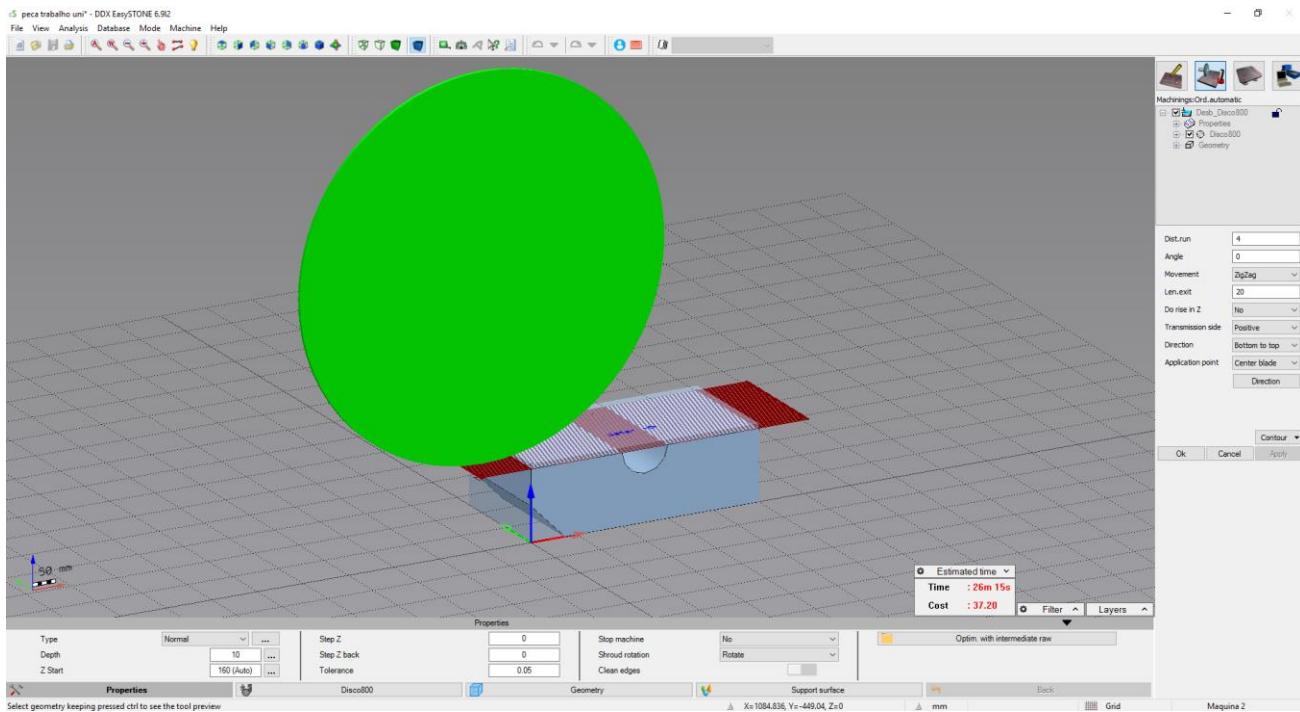


Figura 4.26: Interface de uma maquinação de desbaste "Rough".

Para maquinar o semicírculo, pode ser utilizada uma maquinação de acabamento “Finish”. O procedimento é semelhante ao anterior, seleciona-se a entidade geométrica, desta vez a superfície curva, de seguida o “Kit” “Finish” e a mesma ferramenta que anteriormente (Disco800). A interface e parâmetros deste tipo de maquinação é semelhante à de desbaste, aqui é necessário rodar o ângulo de trabalho da ferramenta 270° e estabelecer passagens de 1 mm, de forma a conseguir obter a curvatura pretendida. Nesta situação, apenas se pretende que a ferramenta “ataque” a parte da peça que corresponde à zona curva. Assim sendo, deve ser delineada uma zona a ser trabalhada, selecionado em “Contour” a opção “Zone”. A maquinação concluída pode ser observada na Figura 4.27.

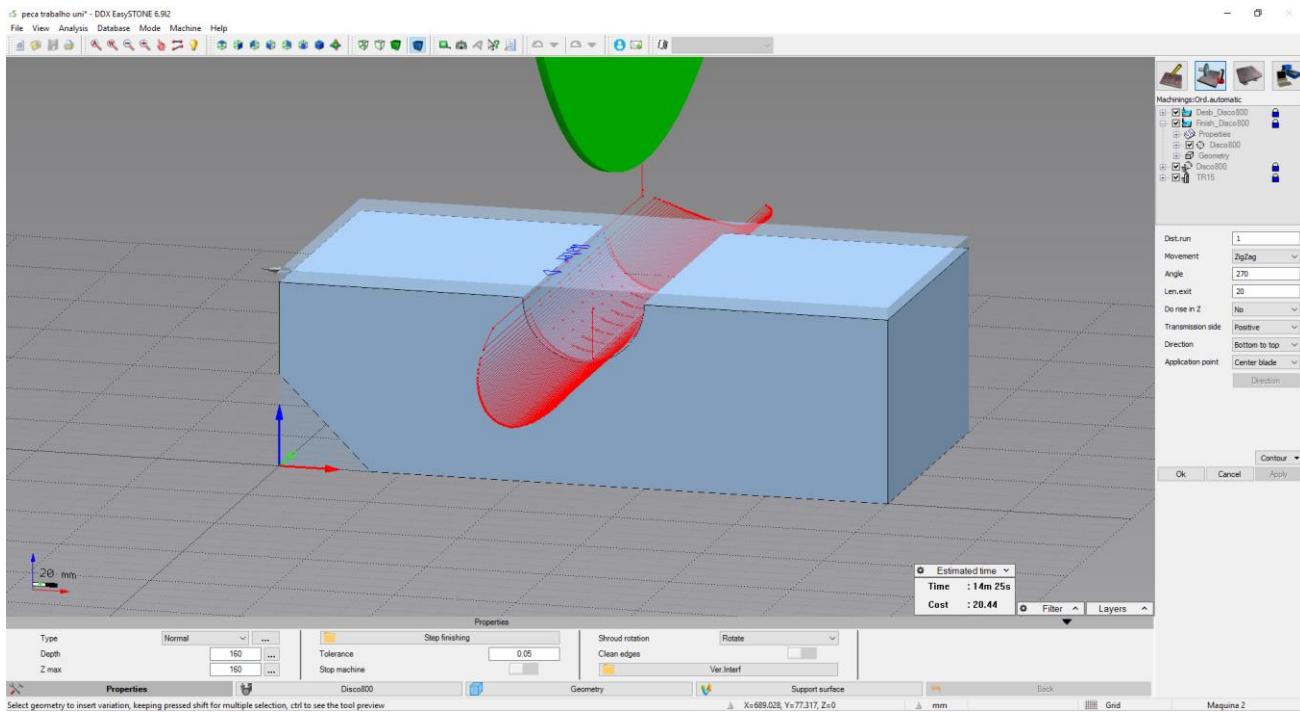


Figura 4.27: Aspetto final da maquinação de acabamento da superfície circular com recurso a um disco.

A superfície oblíqua pode ser conseguida através de um corte inclinado com disco, para tal seleciona-se a entidade geométrica adequada, nesta circunstância é selecionada a linha que surge destacada a preto na Figura 4.28.

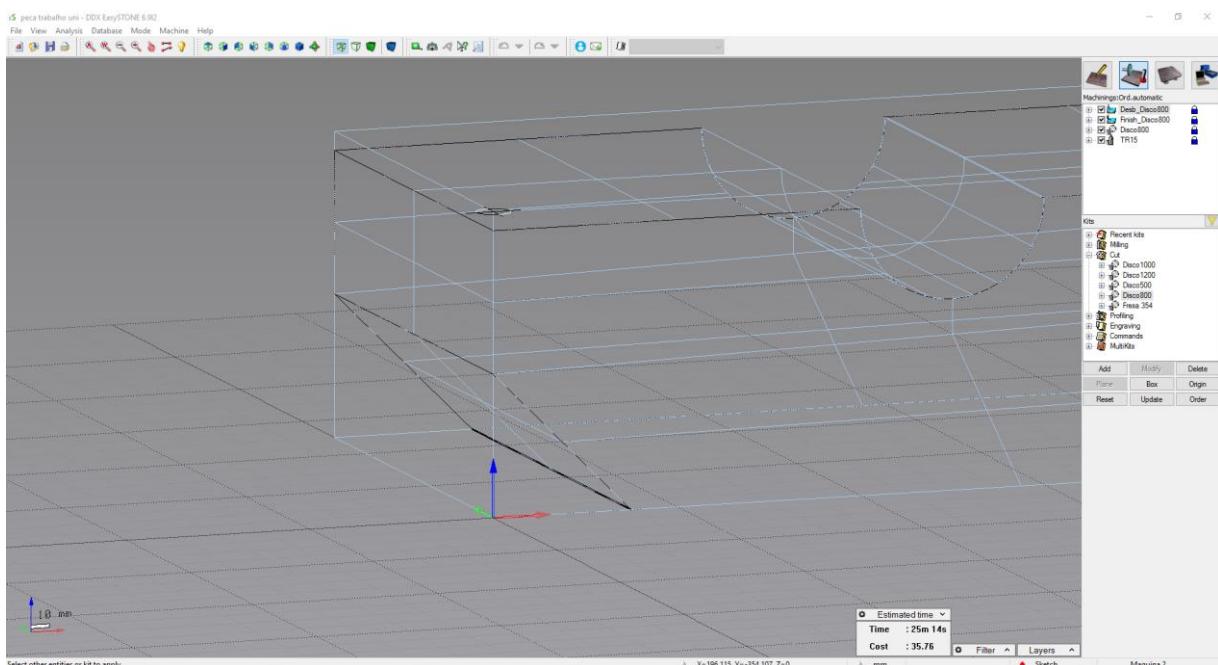


Figura 4.28: Seleção de uma linha que servirá como guia para um corte. Assim como, o tipo de maquinação “Cut” e a ferramenta “Disco800”.

Após a seleção surge a interface da maquinção do tipo “Cut”. Aqui é estabelecida a compensação da espessura do disco, neste caso é à direita. A transmissão do movimento de rotação do disco situa-se à esquerda e o início do corte é externo à peça, ou seja, o disco irá baixar (eixo Z) fora da peça começando a cortar com o movimento do eixo Y. A parte inferior do disco irá passar 2 mm abaixo da linha selecionada anteriormente (Figura 4.29).

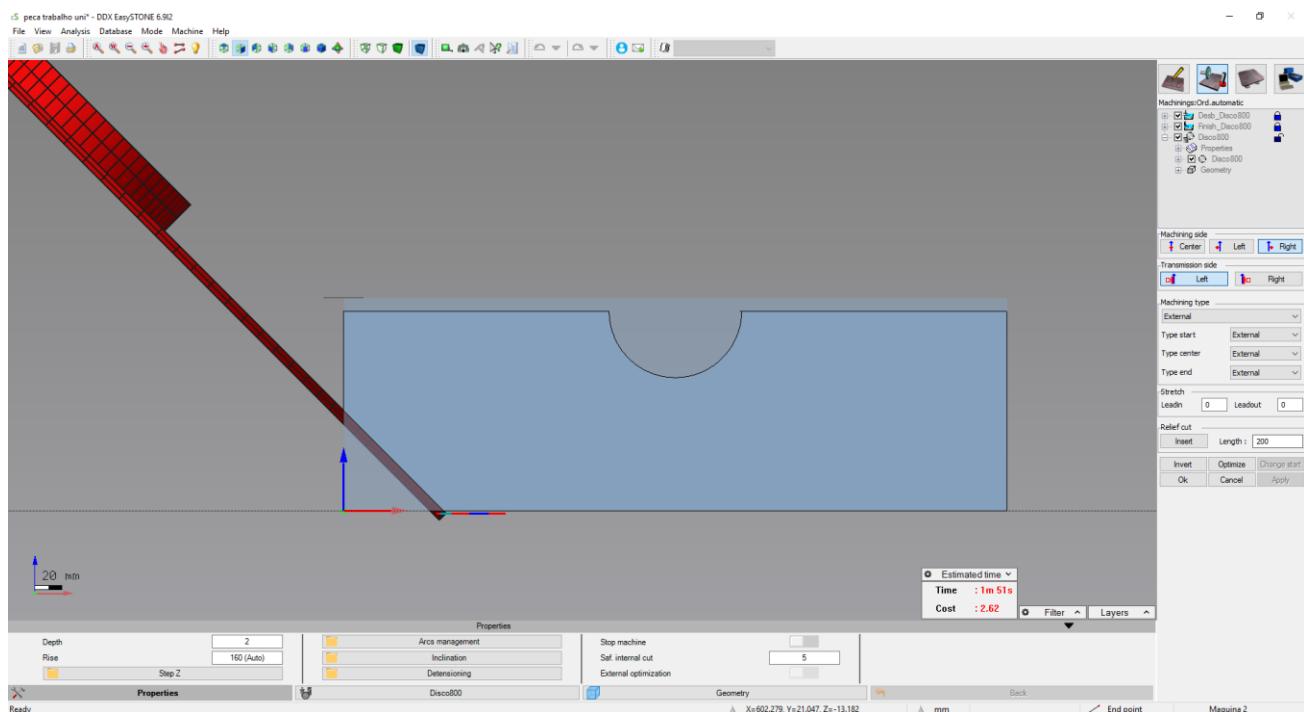


Figura 4.29: Interface da maquinção do tipo "Cut".

No início deste tipo de maquinção, as ferramentas possuem uma inclinação de 0° , ou seja encontram-se na posição vertical, para que o disco assuma uma posição de acordo com a inclinação da superfície da peça, recorre-se à opção “Angle”. Na Figura 4.30, pode-se constatar que esta especificação possui um valor de 45, que corresponde aos graus que a ferramenta irá inclinar.

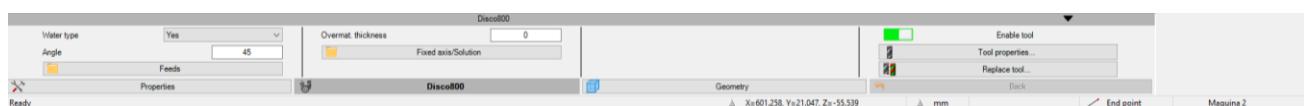


Figura 4.30: Detalhe da barra de ferramentas da maquinção "Cut", com as propriedades da ferramenta "Disco800" em destaque. O parâmetro "Angle" é responsável por colocar o disco com uma inclinação de 45° .

Para exemplificar uma maquinagem com fresa prepara-se a execução de um furo. Para tal, desenha-se um círculo no modo “Draw”. Voltando a ativar este modo e seleciona-se a opção “Circ center and points”  estabelecendo-se as coordenadas do centro do círculo e o seu raio (Figura 4.31).

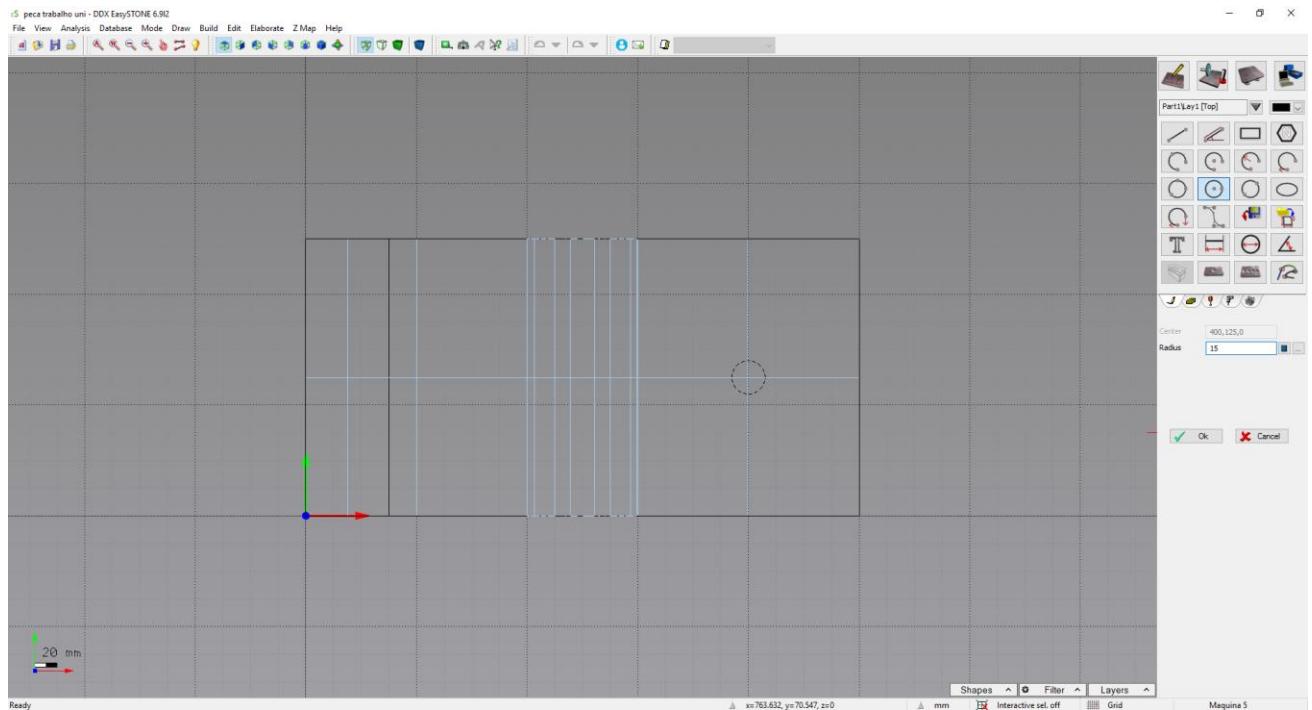


Figura 4.31: Criação de um círculo, tendo em vista a execução de um furo.

Para melhor visualizar o furo corta-se a superfície superior com a ferramenta “Trim Surfaces”. O resultado visível na Figura 4. 32, é um orifício onde será realizado o furo. Agora é possível voltar ao modo “Machine”, selecionar o círculo anteriormente desenhado e dentro do “Kit” “Milling” selecionar a ferramenta “TR15”. É indicada a cota de início do furo (Rise), e o seu fim (Depth) (Figura 4.33), bem como o tipo de incrementação em Z e o seu valor. Nesta situação são incrementos de 2 mm em movimento espiral (Figura. 4.34).

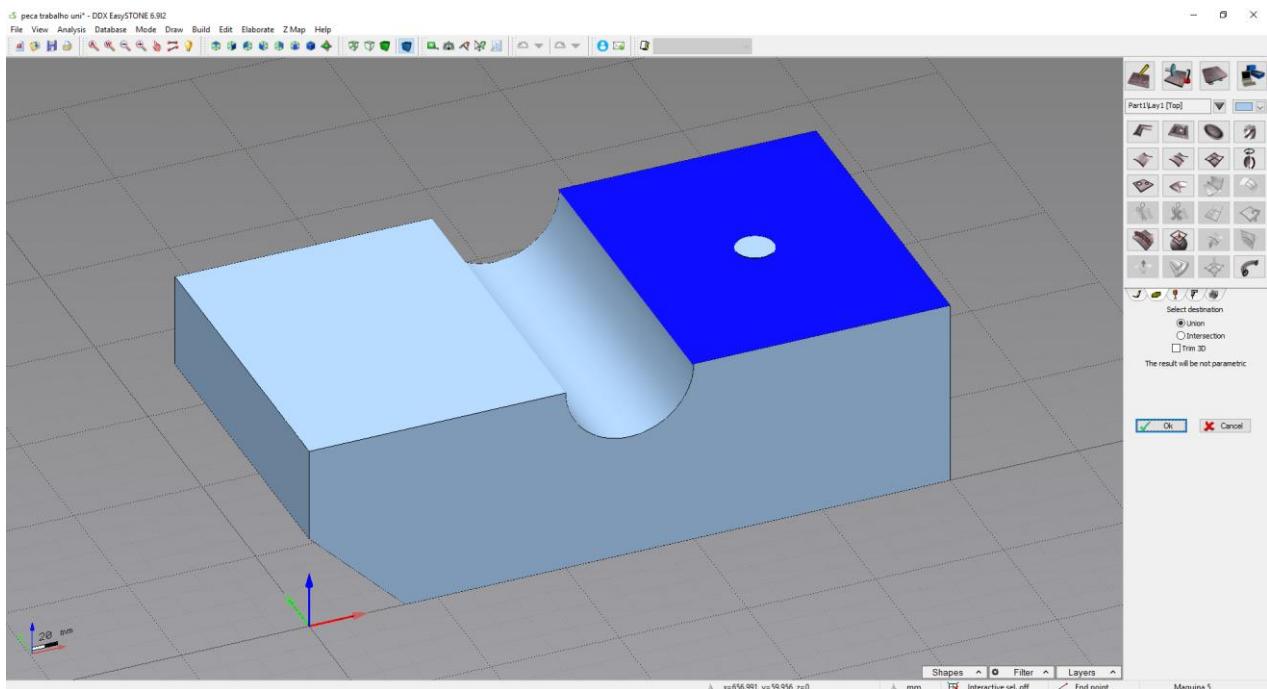


Figura 4.32: Corte da superfície com recurso à opção “Trim Surfaces”, resultando num orifício na peça onde será realizado o furo.

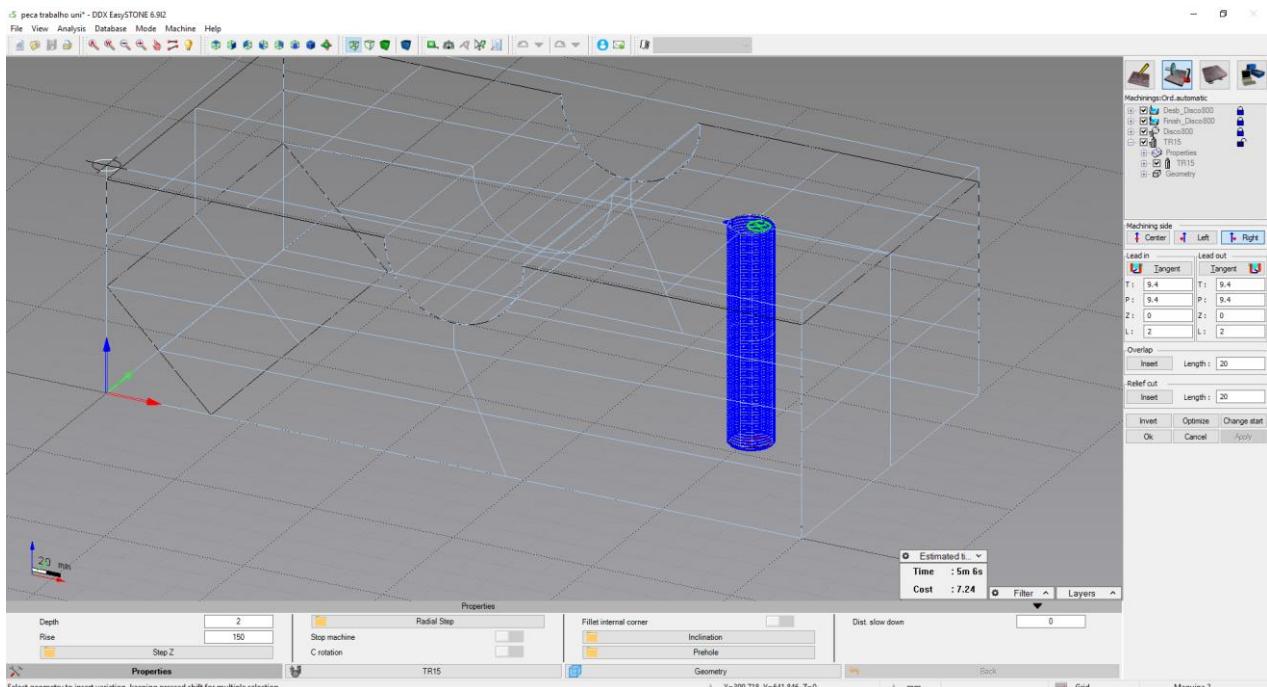


Figura 4.33: Interface de uma maquinção do tipo "Milling".



Figura 4.34: A janela destaca o estabelecimento de incrementos em espiral de 2 mm em cada revolução.

Findado o processo de elaboração das maquinações, segue-se a disposição da peça na área de trabalho. Para esse fim, ativa-se o modo “Dispose”, surgindo a interface que se apresenta na Figura 4.35. Ao selecionar a peça existe a possibilidade de a mover para um ponto de coordenadas e estabelecer um “Shim”, que nada mais é que a distância entre a parte de baixo da peça e a mesa de trabalho. Esta disposição deve refletir a que ocorre na realidade na mesa de trabalho da máquina, a fim de garantir a correta verificação dos parâmetros e da simulação dos trabalhos.

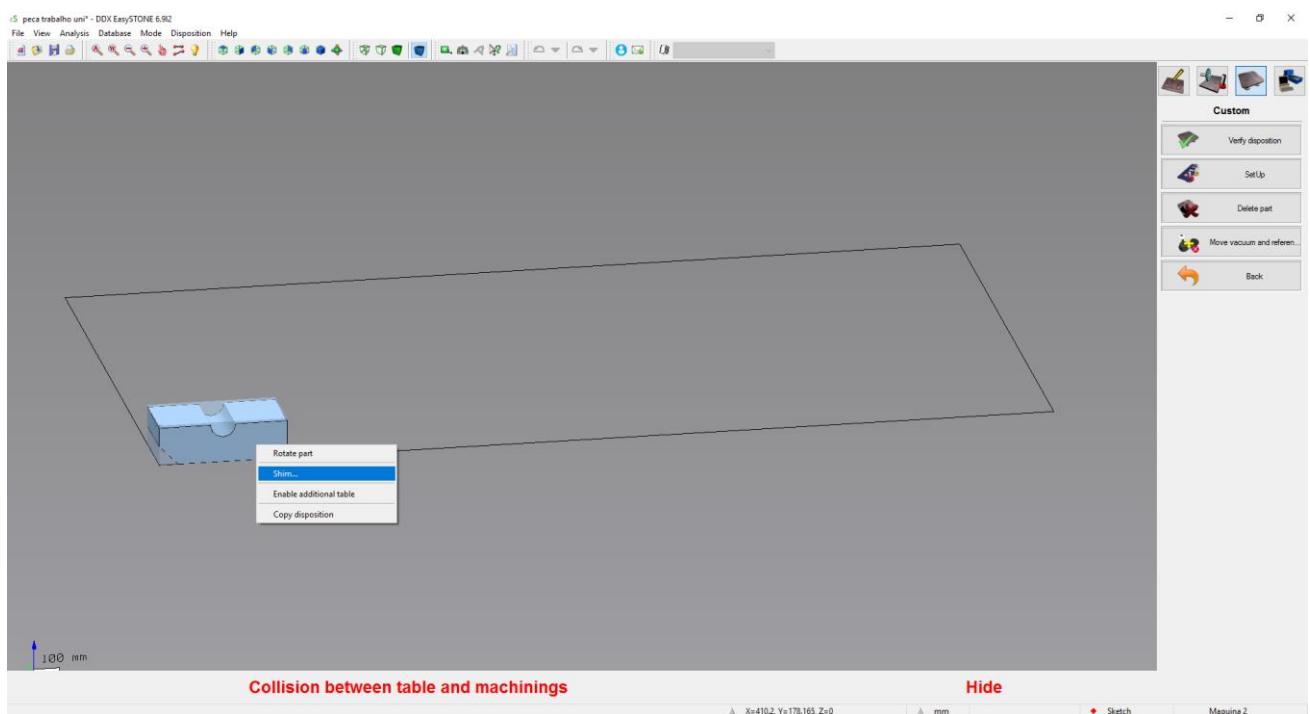


Figura 4.35: Interface do modo "Dispose". Selecionando a peça é possível movê-la para um ponto de coordenadas e indicar um "Shim" (distância entre a parte de baixo da peça e a mesa de trabalho).

Após verificada a disposição pelo software e se não ocorrer nenhum erro (caso haja é apresentado no quadro de diálogo) avança-se para a última fase. Ativando o modo “Do It”, temos acesso às funções de simulação do tempo de trabalho, simulação do trabalho a executar pela máquina (Figura 4.36), geração do código G (Figura 4.37) a ser lido pela máquina e a edição e envio do código G para a máquina.

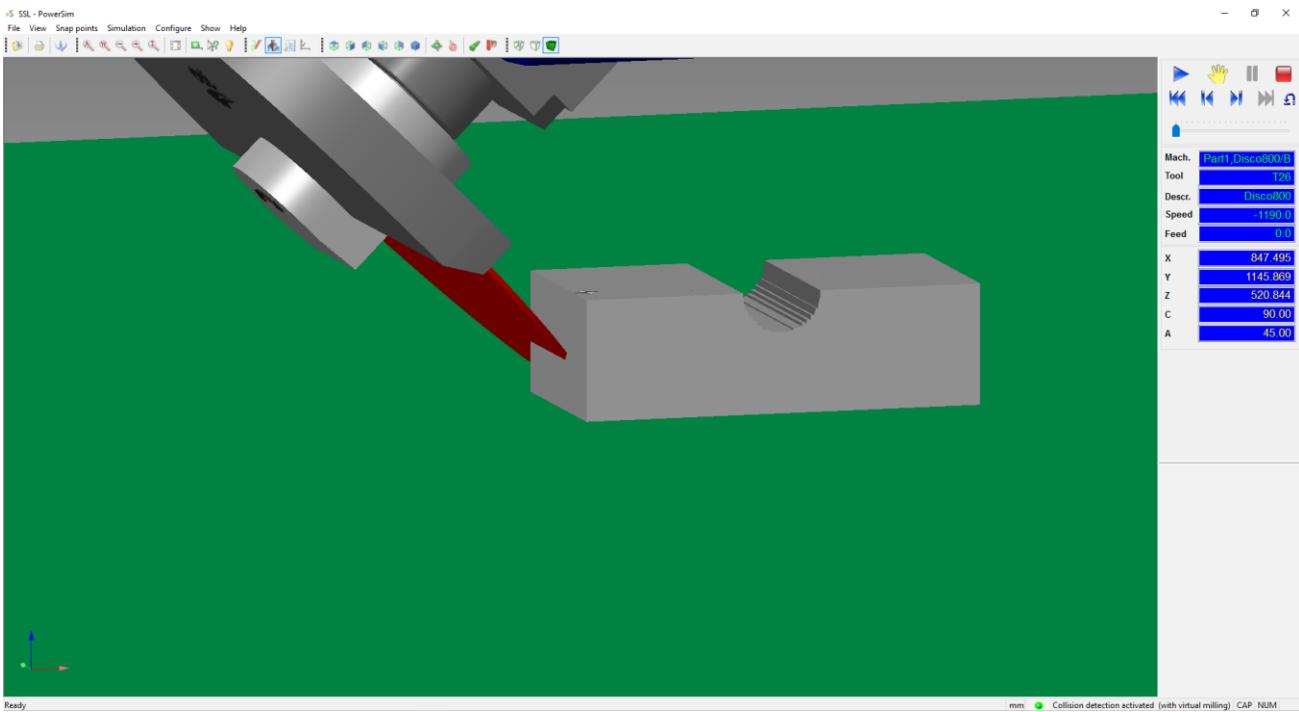


Figura 4.36: Simulação do trabalho a executar pela máquina.

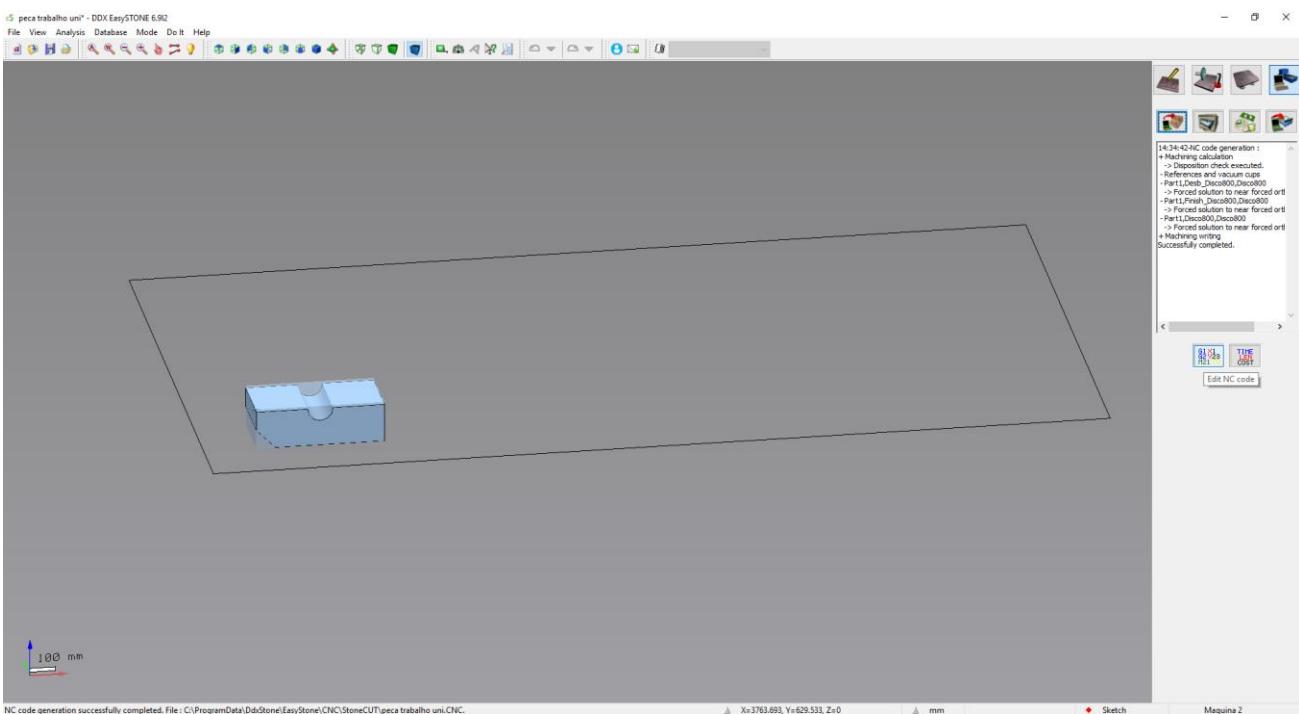


Figura 4.37: Aspetto da interface do modo "Do It", com o código G gerado com sucesso.

O código G a ser enviado para as máquinas tem o aspeto que mostra a Figura 4.38, onde se pode observar alguns comandos como:

- O número da ferramenta na máquina, “T26”, que corresponde à ferramenta número 26;

- A indicação da velocidade de rotação da ferramenta, dada pelo comando “S1190”, que indica que o disco terá uma velocidade de rotação de 1190 RPM;
- A velocidade de avanço indicada pela instrução “F10000”, que se traduz numa velocidade de avanço de 10000 mm/min.
- Os valores das coordenadas X, Y e Z.

```

N1 (peca trabalho uni.CNC)
N2 (C:\Users\Utilizador\Desktop\peca trabalho uni.est - 06/08/2025 - 14:34:42)
N3 (StoneCUT.ppf ver. 6.9e1)
N4 G90
N5 G230 I-1 J-1
N6 G231 I-1 J-1 K-1
N7 (START MACHININGS)
N8 G17
N9 G54
N250 G53
N251 G0 Z[#2028-5]
N252 (MSG MACHINING=Part1,Desb_Disco800, TOOL=Disco800)
N253 G17
N254 G54
N255 T26 M6
N256 G4 F1000
N257 G54
N258 G0 C180 A0
N259 G243 I1 ( Turn On TCP)
N260 G0 X91.118 Y203.505
N261 G17
N262 G43 H1
N263 G0 Z192
N264 S1190 M4
N265 G230 I400 J1000
N266 G231 I20 J20 K10
N267 G4 F2000
N268 M10
N269 G01 Z162 F10000
N270 G01 X200
N271 G01 X700
N272 G01 X808.882
N273 G01 Y207.468

```

Figura 4.38: Exemplo das primeiras linhas do código G que será processado pela máquina, permitindo que ela execute movimentos de acordo com as instruções definidas.

O EasyStone permite alterar o desenho, todos os parâmetros das maquinações e a disposição na mesa de trabalho sempre que se desejar, sendo necessário gerar um novo código G sempre que tal ocorra, de modo a refletir as alterações concretizadas.

Capítulo 5 Trabalhos Desenvolvidos Durante o Estágio

Neste capítulo apresentam-se as tarefas executadas ao longo do estágio, sobretudo relacionadas à programação e operação de máquinas CNC, à organização da produção referente a estas máquinas e, quando necessário, ao contacto com a equipa técnica da CEI, responsável pelo suporte do fabricante. Além disso, pretende-se mostrar de que forma estas contribuíram para melhorar os processos produtivos e para o próprio crescimento do estagiário, tanto a nível técnico como de gestão.

5.1 Programação de Máquinas CNC

Embora a caracterização das máquinas e a explicação do processo de programação tenham sido abordadas no capítulo anterior, importa agora detalhar as atividades concretas associadas a esta função. Durante o estágio, foram criados novos programas e realizados ajustes e otimizações em programas previamente existentes, com o objetivo de reduzir tempos de ciclo e melhorar a qualidade final das peças.

Antes de iniciar a programação, é analisada a Ordem de Fabrico (OF) que contém as instruções provenientes do departamento comercial. Esta ordem inclui as especificações definidas pelo cliente, tais como o tipo de rocha, as dimensões, as quantidades a produzir e os respetivos desenhos técnicos.

Na Dimpomar existe um padrão genérico de disposição das peças nas mesas de trabalho das máquinas, o que facilita a articulação entre a operação e a programação. No entanto, alguns trabalhos, por serem mais complexos necessitam de soluções menos usuais de colocação. Nestes casos, a melhor forma de posicionar as peças é articulada com os operadores, tendo sempre em conta o manuseamento e as condições de segurança. Esta questão assume particular importância devido às grandes dimensões e ao peso elevado que muitas peças apresentam.

A partir dessa definição, é desenvolvida a programação da peça, adaptando as trajetórias e estratégias de corte à posição acordada, de modo a garantir a melhor eficiência possível. Em alguns casos, é necessário maquinar a peça em diferentes posições, o que implica alterar a sua colocação dentro da máquina. Estas mudanças são sempre planeadas antecipadamente, antes do início do processo, para assegurar uma execução segura e eficiente, prevendo também as paragens que possam ser necessárias ao longo da produção.

Na elaboração dos programas, é dada especial atenção aos tempos de execução apresentados tanto pelo software EasyStone como pelo controlador das máquinas CNC (Inocontrol), sendo que o último apresenta valores mais próximos da duração real do processo. Esta análise permite ajustar estratégias de corte e definir sequências que maximizem a produtividade.

Outro fator essencial é a qualidade final da peça. Existe sempre um equilíbrio entre o acabamento realizado na máquina e o trabalho subsequente na fase de acabamento manual. Em determinadas situações, um nível de acabamento demasiado elevado no CNC pode representar tempo de máquina desperdiçado, já que os acabadores manuais conseguem concluir rapidamente essas etapas. Assim, procura-se encontrar um ponto ótimo, em que a peça saia da máquina com qualidade suficiente para facilitar a fase seguinte, sem comprometer o ritmo global de produção. Isto pode ser visualizado nos exemplos que constam da Figura 5.1, onde as superfícies maquinadas apresentam-se enraijadas, sendo desejável que o produto final tenha as referidas superfícies completamente lisas.



Figura 5.1: Nível de acabamento obtido na máquina (esquerda) e após o acabamento manual (direita).

O tipo de material também influencia a qualidade dos cortes finais. É comum o esmilhar das arestas com maior facilidade em rochas de elevada granulometria. Já em rochas de grão fino, é possível alcançar arestas perfeitas com maior facilidade. Este facto acaba por influenciar tanto a escolha das ferramentas como a definição das velocidades de avanço e de rotação, que precisam ser ajustadas para garantir um bom acabamento e evitar defeitos. Ainda referente à escolha da ferramenta, é importante considerar que os discos apresentam maior rapidez de corte e menor custo, sendo por isso a opção mais económica e eficiente.

Esta vertente do trabalho não só contribuiu para uma produção mais rápida e consistente, como também permitiu consolidar conhecimentos avançados em programação CNC, interpretação de desenhos técnicos e análise crítica de estratégias de maquinção.

Ao longo do estágio, foram também elaborados bastantes programas em Minocam, uma vez que o corte das peças com meia-esquadria nas “cabeças” e a execução de entalhes (juntas falsas e alhetas) no paramento das peças diretamente na chapa se revelam bastante vantajosos do ponto de vista da produção, pois reduzem o número de operações posteriores, diminuem o manuseamento e contribuem para um processo mais rápido e preciso.

5.2 Operação de Máquinas CNC

Durante o estágio foi feito o acompanhamento da operação das máquinas CNC. As funções desempenhadas passaram por confirmar se os programas estavam a correr de acordo com as especificações e garantir que tudo estava dentro dos parâmetros definidos. Além disso, foi monitorizada a qualidade das peças produzidas, verificando medidas e o nível de acabamento para evitar não conformidades. Assim como, a supervisão da montagem das ferramentas a utilizar.

A Figura 5.2 mostra algumas das ferramentas que são utilizadas na maquinção CNC. Da esquerda para a direita, pode-se visualizar uma roca de 50 mm de diâmetro, ponteira de 30 mm, ponteira de 20 mm, ponteira de 18 mm, haste lisa de 12 mm com 40 mm de altura diamantados, haste lisa de 12 mm com 10 mm de altura diamantados, haste lisa de 10 mm com 20 mm de altura diamantados, fresa de *bullnose* de 20 mm, fresa de *bullnose* de 30 mm e fresa de *bullnose* de 40 mm.



Figura 5.2: Algumas das ferramentas utilizadas nas máquinas CNC.

Houve momentos em que foi preciso intervir de forma mais direta. Por exemplo, quando surgia algum erro no programa ou uma peça não ficava dentro da tolerância, procedeu-se ao ajuste de parâmetros ou à correção de problemas no próprio equipamento. Esse apoio foi importante para evitar paragens prolongadas e atrasos na produção.

Em peças que exigiam um posicionamento menos convencional na área de trabalho das máquinas, foi demonstrado aos operadores como alinhar as peças com os eixos (X,Y) das máquinas e obter os pontos zero das peças.

A articulação entre as atividades de operação e programação mostrou-se sempre de grande importância e constituiu uma prática constante no dia-a-dia. Para além da monitorização, houve intervenção na colocação e fixação das peças nas mesas de trabalho sempre que se verificou falta de pessoal ou situações inesperadas. Esta atuação permitiu assegurar que a produção não sofreu interrupções e o correto posicionamento das peças, respeitando as exigências do processo e as condições de segurança.

Para além disso, foram identificadas oportunidades de melhoria no fluxo de trabalho e na organização do espaço de trabalho, de modo a facilitar o manuseamento das peças e a reduzir possíveis erros. A experiência permitiu compreender melhor as interdependências entre a programação e a operação, reforçando a necessidade de antecipar problemas e de agir de forma proactiva.

Este tipo de trabalho proporcionou experiência prática na resolução rápida de problemas e reforçou a importância da comunicação com os operadores para que tudo corresse de forma eficiente.

Na Figura 5.3 apresenta-se a interface do controlador das máquinas CNC, onde são disponibilizadas as principais funções de operação. No canto superior direito encontram-se os controlos que permitem ajustar as velocidades de corte e de rotação das ferramentas, fundamentais para adequar a execução às características do material e do programa em curso. No lado oposto estão localizados os botões de controlo do ciclo: “Iniciar”, “Pausa” e “Stopjob”, que interrompe o programa sem possibilidade de retomar no ponto onde parou. Existe ainda o botão de emergência, com função semelhante ao “Stopjob”, mas que, para reiniciar o processo, exige que a máquina retorne à posição de origem, definida como a posição de repouso do cabeçote da ferramenta.

O botão “Manual” possibilita a deslocação da máquina para coordenadas específicas, enquanto a função “Jog” permite movimentos manuais para verificações mais precisas e para a definição do ponto zero da peça. Estão igualmente disponíveis botões de ampliação

e redução (zoom), que facilitam a visualização detalhada dos percursos da ferramenta no plano de trabalho.

Através do botão “Consola Auxiliar” é possível acionar manualmente diferentes funções, como a rotação do motor, a ativação do fluído refrigerante (neste caso, água), a limpeza do cone de acoplamento com jato de ar comprimido e a abertura ou fecho dos porta-ferramentas e porta-disco. A função “Operação” permite ainda o carregamento e descarregamento automático das ferramentas. Para carregar um programa, utiliza-se o botão “Abrir”, selecionando a pasta de destino para onde o ficheiro foi previamente enviado.

Na zona inferior esquerda do ecrã são apresentadas as coordenadas atuais da ferramenta, bem como a intensidade da corrente elétrica consumida, indicador do esforço aplicado sobre a máquina e a ferramenta. É também possível visualizar o tempo de execução do programa, a linha de código em processamento e, no canto inferior direito, a percentagem concluída, o que possibilita a estimativa do tempo restante até à finalização da operação.

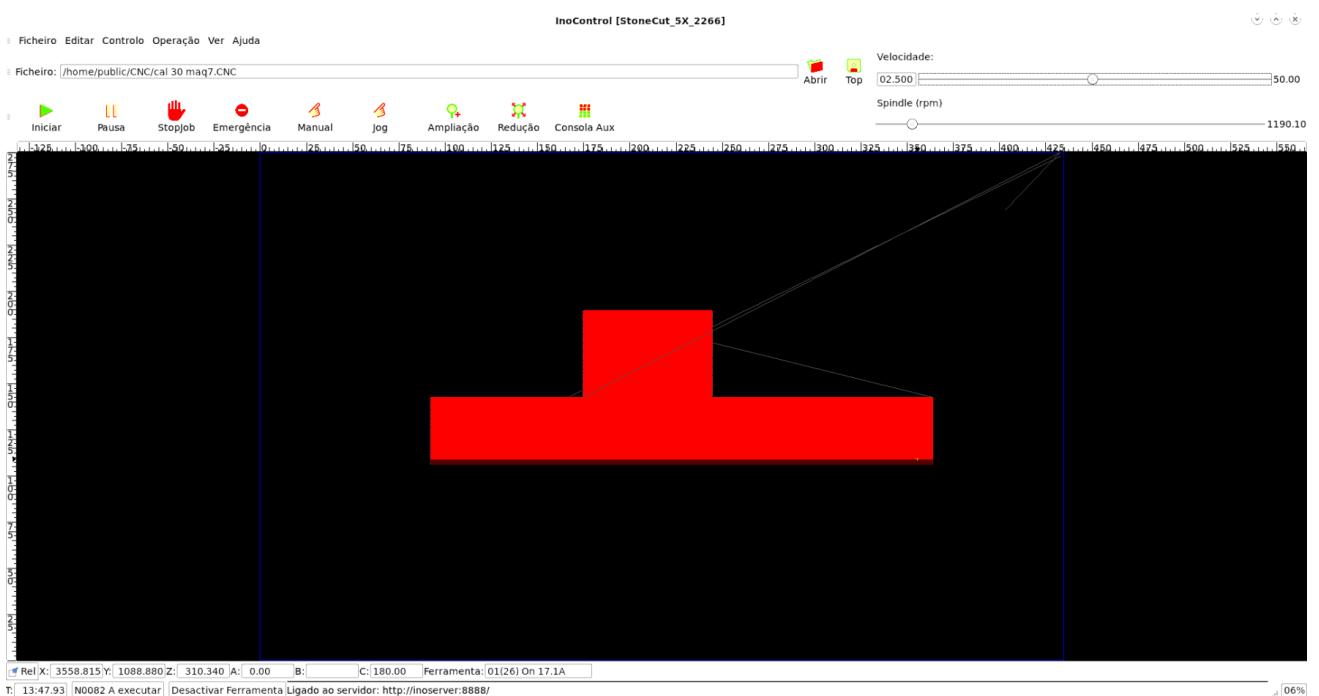


Figura 5.3: Interface do controlador das máquinas CNC, Inocontrol.

5.3 Coordenação e Otimização da Produção

Outra parte importante do estágio foi a gestão do trabalho relacionado com as máquinas CNC. Procedeu-se à análise das ordens de produção e à organização da sequência das operações de acordo com as prioridades, garantindo que os prazos eram cumpridos e a minimização dos tempos mortos.

Relativamente ao Monofio CNC o meu contributo centrou-se na análise dos blocos de onde seriam obtidas as peças, na definição da estratégia de programação e maquinagem, e no controlo da qualidade final das mesmas. Bem como na articulação com a equipa de manutenção da empresa. A Figura 5.4 permite observar os cortes perfilados já realizados pelo monofio, tendo em vista a obtenção de uma peça perfilada.



Figura 5.4: Monofio CNC Pellegrini em laboração.

A Figura 5.5 apresenta o encadeamento das principais etapas que compõem o processo produtivo com recurso a máquinas CNC. O fluxo inicia-se com a análise da OF, onde são verificadas as especificações fornecidas pelo cliente, tais como medidas, quantidades, tipo de material e desenhos técnicos.

De seguida, ocorre a preparação do material, que consiste em selecionar e preparar as chapas ou blocos necessários para a produção, garantindo que estes se encontram em condições adequadas para o processamento.

A etapa seguinte é a programação, fase em que são definidas as estratégias de maquinagem, tendo em conta os requisitos do projeto e as características do material.

Por fim, é realizada a maquinagem, etapa em que as peças são efetivamente produzidas nas máquinas CNC, seguindo os programas previamente elaborados e assegurando os padrões de qualidade exigidos.

Este encadeamento garante que todas as fases do processo se encontram devidamente articuladas, promovendo eficiência, qualidade e redução de desperdícios.

Esta sucessão de tarefas assume um papel fundamental para a otimização do processo produtivo. A correta articulação entre as fases – desde a análise rigorosa da OF até à execução da maquinagem – permite reduzir erros, evitar trabalhos duplicados e assegurar que os tempos de produção são cumpridos. Cada etapa depende diretamente da anterior, pelo que uma análise inicial precisa e uma programação bem estruturada contribuem significativamente para a eficiência global do processo, garantindo simultaneamente a qualidade final das peças.

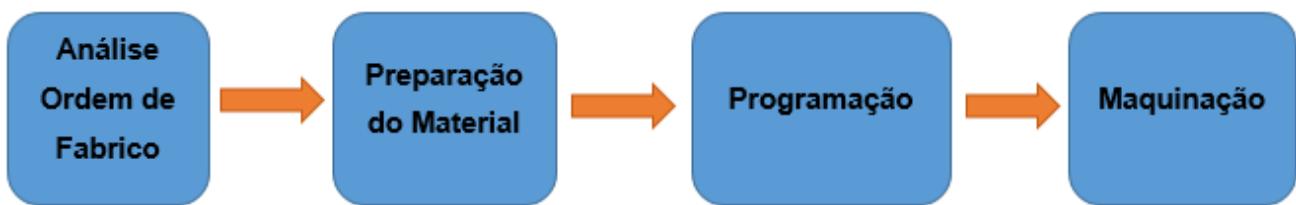


Figura 5.5: Encadeamento das tarefas principais a desenvolver no processo de produção com máquinas CNC.

Além da parte de planeamento, foi realizado trabalho na melhoria do processo. Um dos focos foi reduzir os tempos de preparação, ajustando a forma como as ferramentas e programas eram organizados. Também foram implementadas algumas práticas que ajudaram a evitar paragens desnecessárias, como uma verificação das coordenadas das peças antes do arranque da máquina.

Durante o processo de programação é importante analisar os tempos necessários à realização das peças, e optar pela estratégia mais rentável. Na Tabela 3 podem ser observados os tempos de ciclo inicial e otimizado e qual a diferença percentual entre ambos.

Tabela 3: Análise dos tempos de ciclo inicial e otimizado e ganho percentual relativo às peças programadas.

Programa	Tempo de ciclo inicial (min)	Tempo de ciclo otimizado (min)	Diferença (%)
A	492	444	9,8
B	688	427	37,9
C	28	19	32,1
D	10 peças	310	16,1
	60 peças	1860	68,0

A peça A (pias maciças) corresponde à programação da abertura de uma pia maciça (Figura 5.6), que pode ser executada através de duas estratégias distintas de desbaste com uma Roca de 50 mm de diâmetro.

Na primeira estratégia de desbaste, o material seria removido através de passagens com 2 mm de altura e 40 mm no sentido lateral, demorando um tempo total de 492 minutos. Enquanto na segunda abordagem, a remoção do material foi realizada com passagens de 10 mm de altura e 2 mm lateralmente. Aqui foi possível utilizar velocidades de avanço superiores, possibilitando a conclusão do desbaste em 444 minutos. Face a esta diferença, foi escolhida a segunda opção, traduzindo-se numa poupança de tempo de 9,8%.



Figura 5.6: Peça A (pias maciças).

A peça B é um baixo-relevo a ser utilizado na cobertura de uma fachada (Figura 5.7). O tempo de ciclo inicial tinha como referência outras peças do mesmo projeto, com relevo menos pronunciado, que demoravam 688 minutos. No caso ilustrado na Figura 5.7, devido ao aprofundamento do relevo, foi possível realizar cortes inclinados com o disco, reduzindo o tempo de execução para 427 minutos, o que representa uma diminuição 37,9%.

Durante a execução da primeira peça surgiu um problema: acumulavam-se muitos fragmentos soltos sobre a superfície e, ao passar o disco, estes eram deslocados contra o suporte metálico. Tal situação originava pequenos desvios que comprometiam a qualidade dos cortes. Para ultrapassar esta dificuldade, optou-se por executar os golpes ao longo da peça em ambos os sentidos, permitindo a remoção de tiras inteiras de material solto. Desta forma, reduziu-se significativamente a quantidade de detritos, refletindo-se numa melhoria da qualidade final dos cortes.

Esse procedimento teve de ser coordenado com os operadores das máquinas, de modo a assegurar o tempo necessário para substituir as peças anteriores, aplicar os golpes nas que estavam a iniciar o processo e remover as tiras desprendidas.



Figura 5.7: Peça B (baixo relevo a ser aplicado em fachada).

O programa associado à peça C evidencia uma redução significativa no tempo de execução de um detalhe presente num degrau maciço (Figura 5.8). Inicialmente, a maquinagem do canto era realizada através de uma estratégia de desbaste que incluía também a remoção de material nos detalhes curvos adjacentes, resultando num tempo total de cerca de 28 minutos. Contudo, após a observação do processo em operação, verificou-se que essa remoção adicional não era necessária, uma vez que o material remanescente poderia ser eliminado posteriormente durante a fase de acabamento dos detalhes curvos, sem comprometer a integridade da ferramenta e a qualidade final.

Deste modo, passou a ser possível maquinar apenas a zona reta do canto recorrendo a uma maquinagem de corte com fresa. Com esta alteração introduzida no processo, o tempo de execução foi reduzido para 19 minutos, o que representa uma diminuição de 37,9 %.



Figura 5.8: Peça C (detalhe de um canto de degrau maciço).

Por último, foram analisadas duas formas diferentes de produzir em série as peças D, que correspondem a bordos de banheiras (Figura 5.9).

Na primeira opção, considerada como tempo de ciclo inicial, as peças seriam maquinadas uma a uma com recurso a uma fresa, contabilizando-se também o tempo gasto pelo operador a trocar cada peça. Seguindo este método, a execução de 10 peças demorava 360 minutos, enquanto a produção de 60 peças chegava a 2160 minutos.

Na segunda opção (tempo de ciclo otimizado), as peças foram colocadas na vertical, em sequência, e depois maquinadas com disco. Também aqui foi tido em conta o tempo de substituição das peças pelos operadores. Com este planeamento, 10 peças demoraram 260 minutos e 60 peças apenas 596 minutos.

Esta diferença mostra uma redução muito significativa do tempo de trabalho, que se torna ainda mais evidente em séries maiores. Os ganhos foram de 16,1% para 10 peças e de 68,0% para 60 peças.

Desde o início do planeamento foi considerada a segunda opção, já que este era um resultado esperado. Ainda assim, a quantificação e comparação com a primeira abordagem revelam-se particularmente relevantes em contexto académico. Este exemplo evidencia de forma concreta a importância do planeamento e da simulação de tempos de produção, destacando a discrepância clara entre os dois métodos.

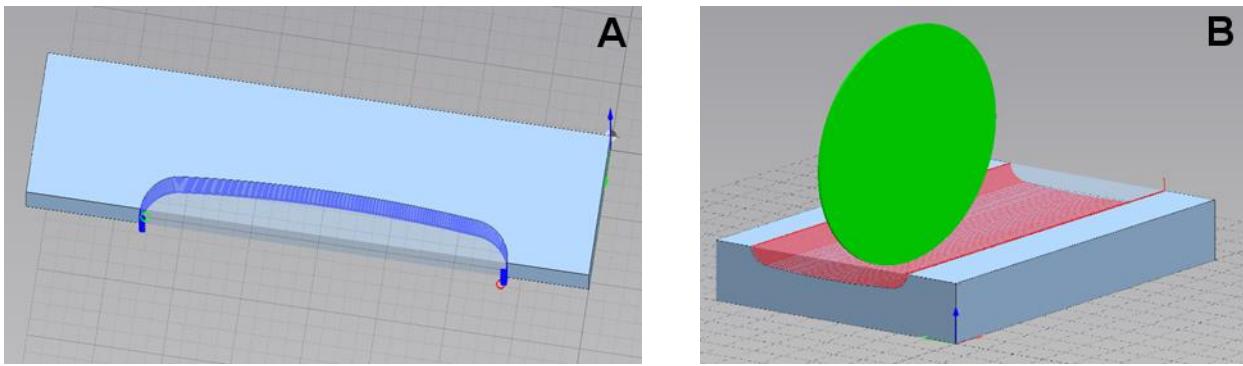


Figura 5.9: Peças D (maquinagem de bordos de banheira. A – maquinagem com fresa (menos vantajoso); B – maquinagem de 60 peças em simultâneo com disco (mais vantajoso).

Estas melhorias permitiram aumentar a produtividade e tornaram o processo mais estável. Pessoalmente, foi também uma oportunidade para desenvolver competências de planeamento e tomada de decisão em situações que exigiam rapidez e assertividade.

5.4 Manutenção e Correção de Avarias

Durante o estágio, acompanhou-se todo o processo de manutenção das máquinas CNC, incluindo o controlo dos prazos das manutenções periódicas. Este acompanhamento foi importante para garantir que as intervenções programadas eram realizadas no momento certo e que não existiam atrasos capazes de afetar o planeamento da produção. Para isso, houve necessidade de manter contacto constante com a equipa interna de manutenção, de forma a ajustar as paragens quando surgiam imprevistos e evitar tempos mortos desnecessários. Sempre que se detetavam sinais de desgaste ou ocorrências anómalas, estas eram comunicadas de imediato, permitindo agir com rapidez e limitar o impacto no processo produtivo.

Em situações mais complexas, nas quais as avarias não podiam ser resolvidas internamente, foi necessário recorrer ao apoio técnico da CEI, fabricante das máquinas. Estes contactos foram essenciais para corrigir falhas específicas e efetuar ajustes nos parâmetros de funcionamento. Além de evitar paragens prolongadas, esta colaboração permitiu aprofundar conhecimentos sobre manutenção preventiva e corretiva, bem como sobre a configuração técnica dos equipamentos.

Capítulo 6 Considerações Finais

A realização deste estágio possibilitou consolidar e aplicar conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico e, ao mesmo tempo, desenvolver competências práticas essenciais para a atividade profissional. O contacto direto com um ambiente industrial proporcionou uma visão realista sobre os desafios da produção, permitindo compreender de forma mais aprofundada a complexidade da gestão de processos e a importância da eficiência em todas as etapas.

As tarefas desempenhadas incidiram principalmente na programação e operação de máquinas CNC. Foram também realizadas atividades relacionadas com a coordenação dos processos de produção e a articulação com o suporte técnico, sempre que se revelava necessário resolver situações específicas. Este conjunto de intervenções contribuiu para melhorar a organização interna, reduzir tempos de paragem e otimizar o fluxo produtivo, refletindo-se em ganhos de eficiência.

Do ponto de vista pessoal e profissional, o estágio representou uma oportunidade para aplicar conhecimentos teóricos em situações práticas, reforçando competências técnicas em programação CNC e interpretação de desenhos técnicos, bem como aptidões ligadas à resolução de problemas e à tomada de decisão. A experiência permitiu ainda compreender a relevância da colaboração entre equipas e do relacionamento interpessoal, mostrando que uma comunicação eficaz é determinante para atingir bons resultados.

Apesar das melhorias alcançadas, existem áreas que podem ser alvo de aperfeiçoamentos futuros. Na empresa, procura-se a melhoria contínua dos processos, e isso implica também desafios específicos na programação. Um dos mais relevantes é a redução dos percursos das ferramentas em vazio, isto é, nas zonas onde o material já foi removido. Trata-se de uma tarefa complexa, pois depende em grande parte das funcionalidades e limitações do software EasyStone. Paralelamente, a introdução de ferramentas adicionais de planeamento e a automatização de certas rotinas de controlo podem trazer ganhos significativos em produtividade e previsibilidade nos processos. Estas medidas, associadas a uma aposta contínua na formação dos operadores, poderão reforçar a eficiência e a qualidade do trabalho realizado.

Em síntese, este estágio não se limitou a proporcionar um contributo direto para a empresa, mas representou também um passo importante no desenvolvimento pessoal e profissional. Reforçou a necessidade de aprendizagem contínua e de adaptação às

exigências do setor, fatores que assumem um papel central no contexto industrial atual, marcado por elevados padrões de competitividade e inovação.

Referências Bibliográficas e Webgrafia

- Bragagnolo, R. P. (2018). *Desenvolvimento de uma fresadora didática de comando numérico computadorizado de pequeno porte*. (Trabalho académico, não publicado). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Panambi, RS, Brasil. Disponível em:
<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/server/api/core/bitstreams/92dc9813-a67c-4ef0-8965-eec8e7aab5a/content>
- CEI (2025). (Último acesso: 21 dezembro, 2025). STONE SOLUTIONS. *Soluções rochas ornamentais catalogo_pedra_2025PT_digital.pdf*. Disponível em:
<https://drive.google.com/file/d/1RbD89D-6Cuizi6ZdjUevdpLGISSHp17AC/view>
- Couto, S. Z. (2019). (Último acesso: 21 dezembro, 2025). Como deverão ser as máquinas CNC na Indústria 4.0?. Indústria 4.0. Disponível em:
<https://www.industria40.ind.br/artigo/18705-como-deverao-ser-as-maquinas-cnc-na-industria-40>
- Dimpomar (2025). (Último acesso: 04 maio, 2025). *Pedra Natural*. Disponível em:
<https://www.dimpomar.com/pt/pedra-natural/>
- DDX (2025). (Último acesso: 21 dezembro, 2025). EasyStone software CAD/CAM for optimizing stoneworking (versão 6.912). Disponível em:
<https://www.ddxgroup.com/en/stone-glass-working-software/easystone/>
- Edwards, E. (2023). (12 fevereiro, 2023). *What is CNC Machining? | Definition, Processes, Components & More*. Thomasnet. (último acesso: 07 junho, 2025). Disponível em:
https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-cnc-machining/?utm_source=chatgpt.com
- Orlando, A. J., & Filho, R. R. (2021). Evolution of the computerized numerical command. *Interface Tecnológica*. 18(1), 606-617. Disponível em:
<https://doi.org/10.31510/infa.v18i1.1153>

ÖZ, O., & ÖZKAN, E. (2025). Effect of diamond grain sizes on cutting forces and specific energy in marble milling processes. *Afyon Kocatepe University – Journal of Science and Engineering*, 25(1), 152-159. Disponível em:
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.1509025>

Souza, C. E. D. (2018). Vantagens e desvantagens do controle numérico computadorizado (CNC). (22-Dez-2018). (Artigo, Repositório Uniube, Universidade de Uberaba). Disponível em: <http://dspace.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/514>

Youssef, H., & El-Hofy, H. (2021). *Traditional Machining Technology*. (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press, 502p.