

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

JOÃO PAULO MELLER MILIOLI

**ANÁLISE NO PROCESSO DE *PRESHAPE* DE PRANCHAS DE
SURFE COM UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA DE CORTE À QUENTE**

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

JOÃO PAULO MELLER MILIOLI

**ANÁLISE DO PROCESSO DE *PRESHAPE* DE PRANCHAS DE
SURFE COM UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA DE CORTE À QUENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecatrônica

Orientador: André Roberto de Sousa, Dr. Eng.

Coorientador: Felício José Gesser. Me. Eng.

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

João Paulo Meller Milioli

ANÁLISE DO PROCESSO DE *PRESHAPE* DE PRANCHAS DE SURFE COM
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA DE CORTE À QUENTE/ João Paulo Meller
Milioli. – Florianópolis, Dezembro 2018 –
49p. : il. (algumas color.) ; 30cm.

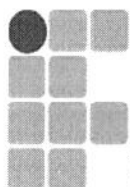
Orientador: André Roberto de Sousa

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina
– IFSC

Campus Florianópolis

Engenharia Mecatrônica, Dezembro 2018.

1. Poliestireno. 2. CNC. 3. Preshape. 4. Pranchas. 5. Faca
Quente. I. André Roberto de Sousa. II. Instituto Federal de Santa
Catarina. III. Campus Florianópolis



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **JOAO PAULO MELLER MILIOLI**, matrícula n° **132004382-8**, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **ESTUDO DO PROCESSO DE PRESHAPE DE PRANCHAS DE SURFE COM FERRAMENTA DE CORTE À QUENTE**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, 12 de dezembro de 2018.

Prof. Orientador do TCC: André Roberto de Sousa

AGRADECIMENTOS

Esse é o término de mais uma etapa de aprendizado da qual proporcionou não só conhecimento e habilidades técnicas para a formação em Engenharia Mecatrônica, mas amizades das quais vou levar para o resto da minha vida.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família que sempre me incentivou para nunca desistir dos meus sonhos.

Em segundo lugar, um imenso sentimento de gratidão por todo corpo docente do Instituto Federal de Santa Catarina do Campus Florianópolis.

É impossível deixar de citar a segunda turma que ingressou no curso que mesmo se dispersando continuou presente durante toda a duração do curso como uma família. Isso tudo graças ao Resenhas Bar e Petiscaria que proporcionou a todos nós uma área de lazer e válvula de escape contra todas as adversidades que surgiam durante a graduação. Josimar, Claudinei e Jefferson vocês foram essenciais para a união que se manteve de toda a turma, obrigado de coração.

Um muito obrigado em especial à minha equipe de Projeto Integrador que durante vários semestres se conservou a mesma pela excelente forma de trabalhar em conjunto. Bruno Tomasi, Matheus Fischer, Matheus Souza e Victor Andrade sem vocês essa jornada com certeza seria muito mais árdua e desgastante. Equipe Pitres, muito obrigado!

Por último, não menos importante, um reconhecimento em especial ao Rodrigo Silva da empresa SRS Surfboards e aos professores Felício e André por toda a compreensão e parceria da qual conseguiu proporcionar uma felicidade em conseguir conciliar a obrigação em realizar esse trabalho com um tema de bastante interesse pessoal que é o universo do surfe. Fica meu agradecimento de coração a todos vocês.

"Nunca desista dos seus sonhos."

Augusto Cury

RESUMO

Atualmente, as pranchas de surfe em EPS tem sua pré forma gerada em máquinas CNC por meio de ferramentas rotativas de usinagem.

Como alternativa a usinagem convencional do EPS aparece o corte à quente, amplamente difundido na modelagem e no aeromodelismo.

O presente trabalho propõe o uso de faca quente no processo de *preshape* de pranchas de surfe produzidas a partir do EPS em máquinas CNC.

Uma ferramenta comercial de corte foi adquirida para integrar a uma máquina CNC de três eixos. Analisou-se os resultados a fim de classificar o equipamento e concluiu-se a não adequação do mesmo para o processo. Realizou-se então uma proposta de uma nova solução que permite ser configurada em software CAD/CAM específico para pranchas de surfe.

Palavras-chave: Poliestireno. CNC. *Preshape*. Pranchas. Faca Quente.

ABSTRACT

Currently, the surfboards in EPS have their preform generated in CNC machines by rotating tools of thinning.

As an alternative to conventional EPS machining, the hot cut is widely used in modeling and aeromodelling.

The present work proposes the use of hot knife in the preforming process of surfboards produced from the EPS in CNC machines.

A commercial cutting tool was purchased to integrate a three-axis CNC machine. The results were analyzed in order to classify the equipment and it was concluded that it was not suitable for the process. A proposal was then made for a new solution that allows to be configured in CAD / CAM software specific to surfboards.

Keywords: Polystyrene. CNC. Preshape. Boards. Hot Knife.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina CNC da empresa SRS Surfboards.....	19
Figura 2 - Módulo de design (CAD) do Shape 3D®.....	22
Figura 3 - Módulo de manufatura (CAM) do Shape 3D®.....	22
Figura 4 - Exemplo da linguagem em código G.....	22
Figura 5 - HSG-G1-VW.....	25
Figura 6 - Lâmina HSGM para reprodução análoga ao disco de corte.....	26
Figura 7 - ZETZ-24.....	27
Figura 8 - Lâmina Abbeon para reprodução análoga ao disco de corte.....	27
Figura 9 - Disco de corte abrasivo da SRS Surfboards.....	28
Figura 10 - Modelador de EPS Acryflon tipo faca à quente.....	29
Figura 11 - Gabinete desligado e fechado	30
Figura 12 - Gabinete aberto.....	30
Figura 13 - Trafo de corrente contínua.....	31
Figura 14 - Conexão dos cabos elétricos entre o trafa e gabinete.....	32
Figura 15 - Cabo de alimentação 25mm ² com isolamento de Celeron.....	32
Figura 16 - Elemento resistivo tipo fita níquel cromo.....	33
Figura 17 - Modelador de EPS Acryflon ligado.....	34
Figura 18 - Amostra A.....	35
Figura 19 - Amostra B.....	35
Figura 20 - Amostra C.....	36
Figura 21 - Deformação do filamento resistivo.....	37
Figura 22 - Troca de calor da fita com o EPS.....	38
Figura 23 - Compensação do equipamento de corte do software Shape 3D®.....	40
Figura 24 - Configuração da posição de fixação do bloco na CNC.....	41
Figura 25 - Configuração das direções e unidade das coordenadas XYZ.....	42
Figura 26 - Guias da faca quente anelar e rotativa.....	43
Figura 27 - Acoplamento de um sistema rotacional.....	44

Figura 28 - Conceitual da nova ferramenta.....	45
Figura 29 - Conceitual da nova ferramenta visualizada por baixo.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPS – Poliestireno Expandido

PU – Poliuretano

CNC – Comando Numérico Computadorizado

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

CAD – Desenho Assistido por Computador

CAM – Manufatura Assistida por Computador

DSD – Máquinas de Shape

AC – Corrente alternada

A – Ampere

V – Volts

TRIAC – *Triode for Alternating Current*

VA – Volt-Ampere

W – Watts

Hz – Hertz

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 A empresa.....	14
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Geral.....	15
1.3.2 Específicos.....	16
1.4 Estrutura do Trabalho.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Materiais e processos empregados no <i>preshape</i> de prancha de surfe.....	17
2.2 Máquinas CNC.....	19
2.3 CAD/CAM para <i>preshape</i> de pranchas de surfe.....	20
3. DESENVOLVIMENTO.....	24
3.1 Escolha da ferramenta comercial.....	24
3.2 Detalhamento da ferramenta escolhida.....	29
3.3 Ensaio preliminares.....	33
3.4 Avaliação da ferramenta.....	37
3.5 Proposta de uma nova ferramenta.....	39
3.5.1 Definição de novas ferramentas no CAD/CAM Shape 3D®.....	39
3.5.2 Conservação da estrutura do anel de corte.....	42
3.5.3 Regeneração do calor da lâmina.....	43
3.5.4 Contato elétrico no anel rotativo.....	44
3.5.5 Conceito final da nova ferramenta.....	45
4. CONCLUSÃO.....	47

REFERÊNCIAS.....48

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Internacional do Surf, o número estimado de surfistas no mundo são 23 milhões de pessoas. Além disso, a indústria do surfe fatura anualmente U\$ 7.9 bilhões em materiais destinados a prática do esporte. A disseminação mundial do surfe promove a busca incessante por novas alternativas de materiais e de processos que visam diminuir o custo e aumentar a competitividade das indústrias nesse setor. Esse mercado está em crescimento exponencial e nota-se a necessidade do alto desempenho dos atletas. Neste sentido observa-se a busca por soluções inovadoras, como por exemplo as pranchas de poliestireno expandido (EPS) e as novas tecnologias para sua produção. (SORIMA NETO, 2016)

Mais conhecido no Brasil comercialmente por Isopor®, estes blocos são desbastados sob as mesmas condições das pranchas de poliuretano (PU). Logo depois do acabamento, as pranchas de poliestireno expandido são revestidas por uma resina epóxi, mais conhecida como porcelanato líquido, e reforçada com tecidos de fibra de vidro. Essa resina também apresenta maior resistência estrutural, o que rende uma maior durabilidade e maior resistência a choques. Sua manutenção necessita ser feita somente com resina epóxi. Pelas características do EPS, que tem em sua composição mais de 90% do volume preenchido de ar, as pranchas fabricadas por esse material têm uma maior flutuação comparada com as de PU, como também, apresentam maior leveza e excelente desempenho. Uma pesquisa baseada no artigo de Tobias Schultz, em 2011, mostrou que aproximadamente 15% das pranchas produzidas no mundo são feitas com bloco de espuma de poliestireno expandido, enquanto 85% usufruem do bloco de poliuretano. (ZAMBON; LUNA; CAMPOS, 2016)

Outro grande ponto positivo para este material é o fato de ele ser 100% reaproveitável (COMISSÃO SETORIAL DE EPS, 2007). Desde que seja devidamente encaminhado aos centros de reciclagem, o EPS está incluso em uma

lista de matéria-prima que visa no avanço tecnológico do presente sem prejudicar gerações futuras.

Para a fabricação dessas pranchas o processo de *preshape* pode ser feito tanto artesanalmente, pelo trabalho escultural de um profissional, ou por máquinas de comando numérico computadorizado. O processo de acabamento é sempre artesanal. A grande maioria dos dispositivos automatizados de *preshape* possuem motores de passos acoplados a guias de movimentação linear de forma a gerar e controlar o deslocamento em coordenadas XYZ. Baseado no estudo de mercado feito com a tecnologia já existente da empresa SRS Surfboards, da qual possuem máquinas já desenvolvidas para o *preshape* de pranchas por controle e interfaceamento da plataforma aberta LinuxCNC, analisou-se a possibilidade de substituir a ferramenta de disco que realiza o desbaste. Esta que está fixada no eixo Z poderia ser replicada por uma ferramenta de corte à quente.

Com base nas leis de Ohm, pelo fenômeno da resistência elétrica aumenta-se a temperatura do filamento circular rígido e faz-se o corte do EPS nas mesmas condições que o disco. (HALLIDAY, 2019) A caracterização dessa demanda surgiu ao investigar o processo de corte de poliestireno expandido em indústrias que acontecem por fio a quente. Agrega-se esse fato para defender a pesquisa e o desenvolvimento de uma ferramenta de corte à quente para uma máquina CNC.

1.1. A empresa

A RODRIGO SILVA SURF ME - SRS Surfboards, tem sua fábrica localizada no bairro Campeche em Florianópolis, Santa Catarina. Foi fundada em 1995 com o objetivo de fabricar pranchas de alta performance com base em inovação e qualidade. Afirma-se isso pois no ano de 2005 a empresa estabeleceu uma forte parceria com o IFSC e a empresa Shape 3D® para o desenvolvimento de sua própria máquina de *shaper* computadorizada, considerada uma das melhores máquinas no âmbito internacional.

Desde a sua fundação a empresa dedica-se a melhoria do *design*, da qualidade e desempenho de suas pranchas, pois acredita que este é um trabalho contínuo que requer estar sempre alerta às tendências do mercado, seja na utilização de melhores materiais ou na aplicação da mais alta tecnologia em fabricação. (SILVA, 2018)

1.2. Justificativa

O EPS consiste de pequenas estruturas globulares unidas que formam um grande aglomerado preenchido em grande parte por ar. Essa característica do material torna as operações de acabamento mais difíceis. Para elaborar uma superfície de contato sem falhas, o *shaper* necessita de muito tempo e esforço físico com lixas bem finas. Além disso, o disco de desbaste de máquinas CNC também prejudica o trabalho manual do profissional por conta da alta abrasão com o material e dos ruídos gerados.

Outro fator prejudicial do disco de abrasão no EPS é o acúmulo de energia estática no material. Por conta disso, todo o cavaco produzido na usinagem dificulta a limpeza do ambiente e dos equipamentos.

O processamento de EPS com ferramentas de corte com fio quente deixa um acabamento melhor que as ferramentas de usinagem, o que traz vários benefícios, como ganho de produtividade, redução de ruído e fácil manuseio das sobras de material.

1.3. Objetivos

1.3.1. Geral

O presente trabalho busca analisar ferramentas de corte à quente com vistas a comprovar a viabilidade do processo no *preshape CNC* de pranchas de surfe.

1.3.2. Específicos

- Analisar o processo de corte à quente de EPS e suas ferramentas.
- Avaliar o desempenho de ferramentas de corte à quente comerciais e potencialidades de aplicação.
- Estabelecer os procedimentos para a definição de novas ferramentas no CAD/CAM Shape 3D®.
- Desenvolver o projeto conceitual da ferramenta de corte.

1.4. Estrutura do Trabalho

O primeiro capítulo contempla a introdução e justificativa do projeto e da empresa parceira. Além de falar também sobre os objetivos principais e específicos.

O segundo capítulo apresenta a Fundamentação Teórica do trabalho. Aborda um pouco melhor sobre os materiais e os processos empregados, além de explicar também sobre máquinas CNC em processos de fabricação e a tecnologia CAD/CAM para *preshape* de pranchas de surfe.

No quarto capítulo é apresentado o desenvolvimento principal do projeto. Nele começa-se com o levantamento informacional de opções de equipamentos para definir o melhor para essa aplicação. Depois disso, faz-se todo o detalhamento do equipamento escolhido. Informa-se o descritivo técnico, o modo de instalação e funcionamento. Posteriormente, mostra-se os ensaios preliminares para a qualificação do equipamento proposto e, por fim, o resultado de todo o desenvolvimento do trabalho.

No quinto capítulo aponta a conclusão final, onde expressa o paralelo entre o que foi proposto e o executado. Seguidamente disso, indica-se o referenciamento bibliográfico que foi usufruído para a defesa do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Materiais e processos empregados no *preshape* de prancha de surfe

Há três tipos de materiais usados para a produção de pranchas de surfe. A madeira, apesar de ter sido o primeiro material empregado possui o maior custo de fabricação e são raras as indústrias que ainda se dedicam a sua aplicação em pranchas. Além do mais, o funcionamento nas ondas é considerado inferior àquele das pranchas fabricadas com outros materiais. Mesmo assim, diversos surfistas desfrutam de pranchas de madeira a fim de reproduzir um estilo clássico. A predominância do processo de *preshape* de pranchas de madeira é artesanal e necessita conhecimento e habilidade por parte do profissional com o manuseio da madeira. (ZAMBON; LUNA; CAMPOS, 2016)

Embora as primeiras pranchas de surfe fossem de madeira, atualmente, a grande maioria é feita a partir da espuma de poliuretano e revestida com uma resina de poliéster, fibra de vidro e outras substâncias químicas, tais como o catalisador de peróxido de metil-etila, monômero de estireno e pigmentos a fim de mudar a cor da luz refletida na prancha. (GRIJÓ, 2004).

A maioria dos surfistas ativos dispõe de pelo menos uma prancha de poliuretano ou já manuseou alguma prancha deste tipo, tendo em vista o baixo custo para a aquisição destas e a boa performance que elas oferecem. (ZAMBON; LUNA; CAMPOS, 2016).

O processo para a produção de pranchas com esse material iniciou-se artesanalmente. O *shaper* necessitava de muito tempo para a realização dos desbastes com lixas de diferentes tamanhos e por diversas camadas. Ou seja, por mais atencioso que fosse o profissional, dificilmente chegava-se a precisão que máquinas CNC atingem para o processo de *preshape*. Conforme citado por Lacerda, a aplicação de máquinas CNC em processos de fabricação teve o propósito inicial de aumentar a produtividade e a qualidade. Tanto é que hoje em dia o emprego de

máquinas dominou o processo tanto para pranchas feitas de poliuretano quanto para as de poliestireno expandido.

O EPS, como matéria-prima para fabricação de pranchas de surfe, começou a ganhar destaque após o fechamento da Clark Foam, empresa californiana fabricante de blocos para pranchas de surfe, em 2005. A partir disso, propostas de blocos de poliuretano caiu no mundo inteiro, forçando muitos produtores a buscarem materiais alternativos para a fabricação de pranchas. (CARIOCA FIGUEIREDO, 2009).

O poliestireno expandido foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz. Consiste em uma espuma sólida com uma combinação de características como: isolamento térmico e acústico, leveza, durabilidade e uma boa facilidade de manipulação. Compõe-se por plástico celular rígido oriundo da polimerização do estireno em água. Como agente expensor para a formação do EPS, utiliza-se o pentano, um hidrocarboneto que se decompõe em um intervalo de tempo muito pequeno pela reação fotoquímica ocorrida pelos raios solares, sem afetar o meio ambiente. Sua matéria-prima é originada principalmente do petróleo.

Expandidas, as pérolas constituem em apenas 2% de poliestireno e 98% de ar. Em 1m³ há cerca de 3 a 6 bilhões de células fechadas e preenchidas por ar. Os produtos finais de EPS não apresentam odor, não infectam o solo, são 100% reaproveitáveis e podem retornar à condição de matéria-prima. (ABRAPEX, 2000)

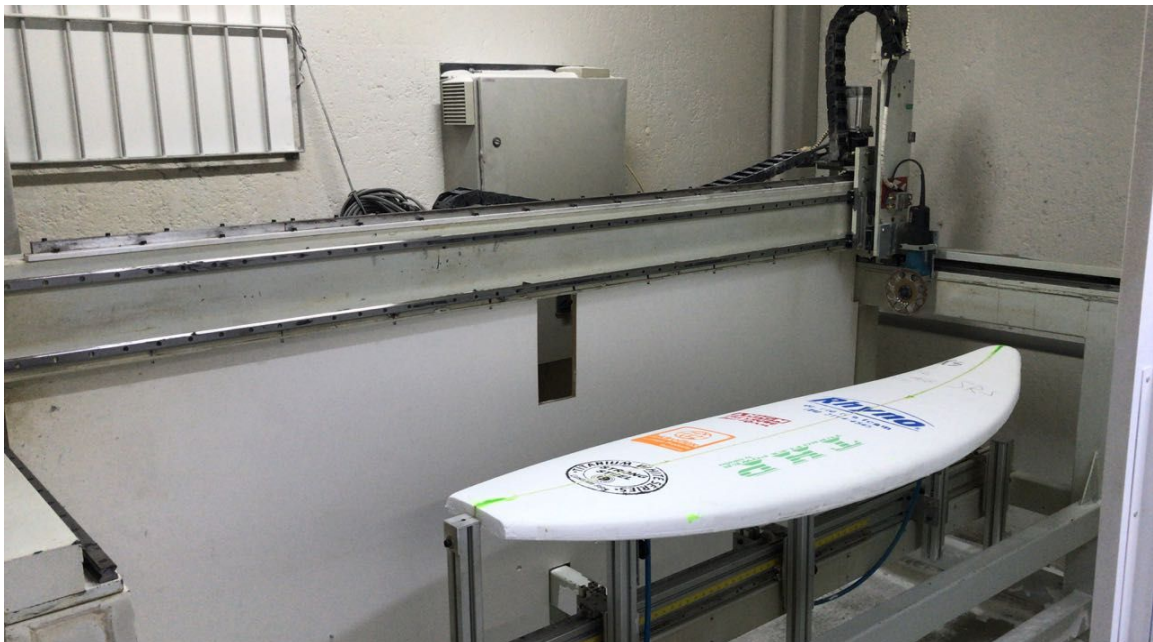
Outras grandes vantagens do EPS são suas excelentes características de resiliência elevada contra deformação e estabilidade dimensional. Ou seja, ocorre a distribuição das cargas atuantes pelo fato de se deformarem, porém como não há o rompimento, as tensões concentradas são dissipadas fazendo com que não provoque o estímulo de fissuras e trincas nos componentes vizinhos. (COMISSÃO SETORIAL DE EPS, 2007)

2.2. Máquinas CNC

A tecnologia CNC constitui um recurso cada vez mais importante nas empresas de produção por permitir automação flexível e versátil. O desenvolvimento e implantação dos sistemas CNC proporcionou a redução de custos de fabricação e manutenção, contribuiu de forma significativa para aumentar a competitividade das pequenas empresas do setor de fabricação. (GESSER, 2007).

As máquinas CNC são geralmente máquinas-ferramenta que automatizam o processo de produção com mínima interferência do trabalhador. O controle CNC pode ser definido como uma operação de máquinas-ferramentas por intermédio de instruções especificadas em linguagem computacional para o sistema de controle da máquina. (SMID, 2003, p.1).

Figura 1 - Máquina CNC da empresa SRS Surfboards



Fonte: Elaborado pelo autor

As instruções enviadas à máquina CNC seguem um padrão de linguagem de programação conhecido como código G. Consiste em uma notação abreviada para

um conjunto de funções da máquina, que regulam os movimentos das diversas partes da máquina (BELL; CHARLES, 2014, p.14).

Graças as grandes vantagens desse tipo de equipamento outras áreas começaram a fazer o uso da tecnologia, como por exemplo a de *preshape* de pranchas. Essa adaptação foi feita por volta de 1990 pelo brasileiro Luciano Leão que desenvolveu o sistema que ficou conhecido como DSD (máquinas de shapes). (LEÃO, 2017)

A Figura 1 mostra a máquina SRS1 desenvolvida em parceria com o IFSC em 2007 e esta é acionada por servomotores AC brushless nos eixos XYZ. Estes que estão acoplados junto de guias lineares do tipo trilho com patins no eixo X, por fuso de esferas no eixo Y e por uma mesa deslizante comercial padrão no eixo Z que convertem o movimento rotacional em linear proporcionando o deslocamento do equipamento. Além disso, o sistema de fixação é flexível pois permite a rápida mudança do lado a ser usinado pelo operador e a sujeição inferior da prancha através de cavaletes internos reguláveis.

É comum encontrar-se máquinas CNC comerciais de *preshape* que utilizam controladores baseados em PC como o Artsoft Mach3® e o LinuxCNC®. A fábrica SRS Surfboards iniciou suas pesquisas com a aplicação do DeskCNC, tendo recentemente atualizado suas máquinas para o LinuxCNC® dada a sua confiabilidade, desempenho e suporte provido por ampla comunidade de utilizadores e desenvolvedores.

2.3. CAD/CAM para *preshape* de pranchas de surfe

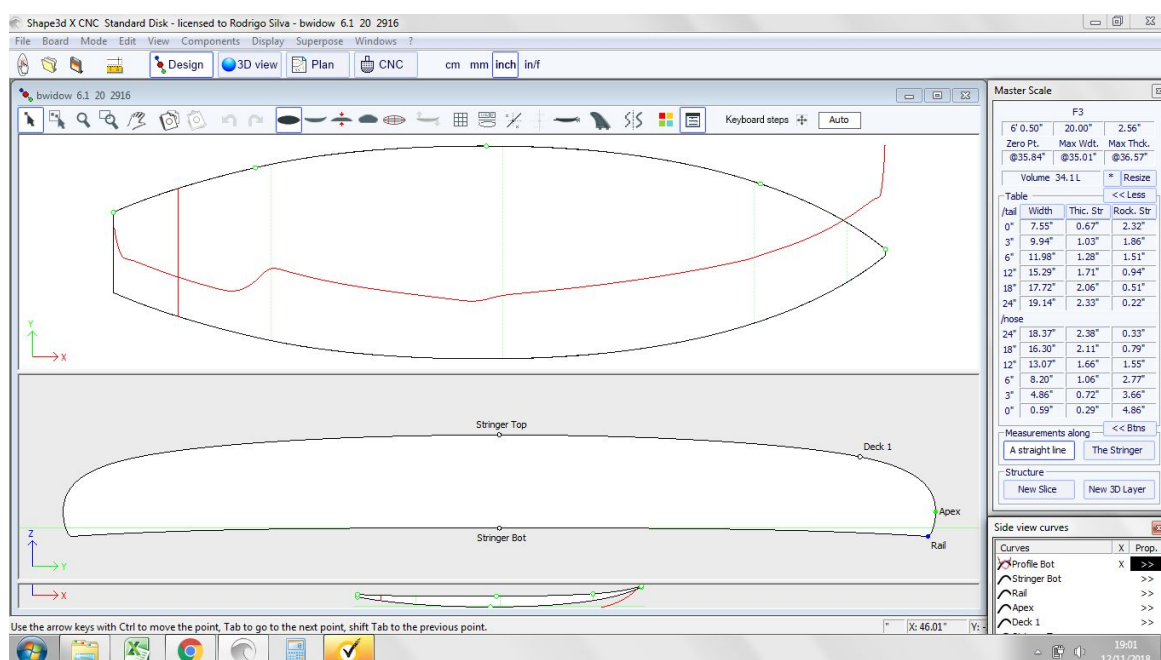
A tecnologia CAD/CAM surgiu a fim de facilitar a concepção e programação de peças complexas com redução de tempo e eliminação dos erros, ainda na fase de projeto. (VANDRESEN, 1997).

O software CAD/CAM Shape 3D® é utilizado nas fases de *design* da prancha de surfe e de geração do programa CNC. Por conta disso, os *shapers* ganham

produtividade, mas principalmente obtém formas muito mais precisas e simétricas daquelas produzidas artesanalmente. Inicialmente o trabalho desses profissionais consiste somente em atribuir as dimensões e curvaturas do tipo de prancha que gostariam de desenvolver. (GESSER, 2007).

Na Figura 2 é apresentado o módulo de design (CAD) onde são introduzidas as dimensões desejadas por meio de digitação nas caixas de entrada ou por arraste dos pontos de manipulação da área gráfica.

Figura 2 - Módulo de design (CAD) do Shape 3D®

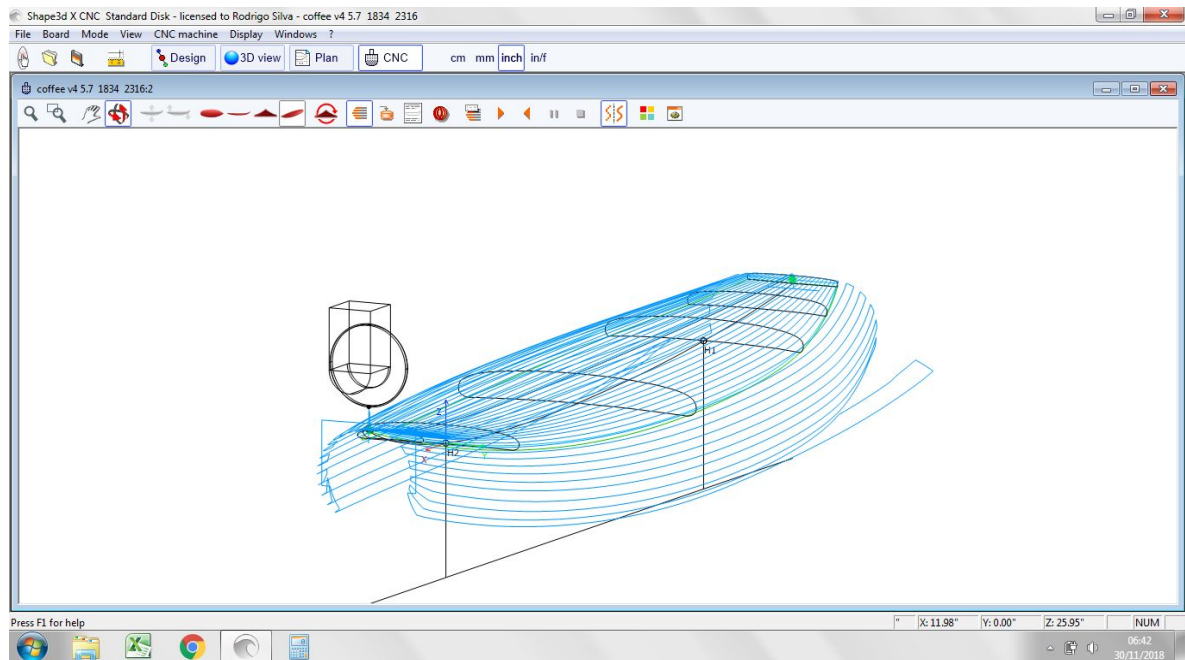


Fonte: Elaborado pelo autor

O Shape 3D® permite a concepção e programação de formas complexas inviáveis de serem obtidas com recursos manuais. (GESSER, 2007).

Na Figura 3 apresenta o módulo de manufatura (CAM) na guia "CNC" para o desbaste do bloco. Percebe-se os traços em azul que representam a trajetória da ferramenta. É onde também definem-se os parâmetros de usinagem e configura-se diferentes geometrias de ferramenta. Enxerga-se logo abaixo no exemplo que a ferramenta determinada foi a do tipo *bull nose*.

Figura 3 - Módulo de manufatura (CAM) do Shape 3D®



Fonte: Elaborado pelo autor

Logo depois, é produzido o arquivo de usinagem da prancha de surfe contendo os comandos CNC em código “G” e finalmente transmitido ao LinuxCNC.

O algoritmo de trajetórias de corte do Shape 3D® calcula a malha polifacetada de aproximação sobre a qual a sequência de interpolações lineares (blocos G1 X Y Z) é gerada.. A Figura 4 apresenta uma seção do programa CNC gerado pelo Shape 3D®. Vale destacar que a sintaxe do programa é compatível com a maioria dos CNC usados pela indústria em geral.

Figura 4 - Exemplo da linguagem em código G

```
G1 x510.2 y239.4 z100 f15000  
G1 x50 y-230 z340  
...
```

Fonte: Elaborado pelo autor

A princípio, esse software teve como propósito o desenvolvimento para aplicações recreativas. Porém, após diversas melhorias inseridas nos últimos anos fizeram com que o interesse aumentasse em uma escala mundial nas indústrias de *preshape* de pranchas para aplicações profissionais. (GESSER, 2007)

3. DESENVOLVIMENTO

Analizando os processos industriais de corte à quente de EPS vislumbrou-se a possibilidade de aplicação ao *preshape* de pranchas de surfe.

Não foram encontrados estudos correlatos ou exemplos de aplicação para esse processo no mercado do surfe. A complexidade de desenvolvimento do equipamento e a interação dele com a máquina fizeram com que a preocupação maior fosse na qualificação do processo de corte à quente para o *preshape*. Por conta disso, optou-se por adquirir um equipamento já disponível no mercado.

3.1. Escolha da ferramenta comercial

Para a realização dos testes de validação do sistema realizou-se uma pesquisa de mercado no setor de equipamentos de corte à quente. Encontrou-se três empresas capazes de fornecer um equipamento mais alinhado com as necessidades desta pesquisa.

A primeira delas é a empresa HSGM de origem alemã. Também possuem uma unidade na Carolina do Sul nos Estados Unidos onde prestam serviços de assistência para diversos problemas desde projetos de máquinas até lâminas personalizadas. O equipamento encontrado chama-se HSG-G1-VW. Algumas características e especificações desse produto são:

- Lâmina vendida separadamente;
- Tempo de aquecimento: 8 segundos;
- Temperatura máxima: 600°C;
- Regulagem da temperatura por potenciômetro;
- Modo de operação contínuo;
- Tensão de alimentação: 115V-60Hz;
- Entrada de energia: 400W max;
- Proteção por isolamento;

- Cabo de alimentação: Tipo EUA plugue de três pinos;
- Cabo flexível de 2 metros;
- Peso: 6900 gramas;
- Elimina a poeira do EPS e o carregamento eletrostático;
- Garantia de um ano cobrindo defeitos de fabricação;

O empecilho maior para adquiri-lo foi o elevado valor de aproximadamente U\$1,700.00 junto da lâmina, fora das restrições orçamentárias do projeto. E pelo fato de não estar localizada no Brasil teria um tempo de espera da qual comprometeria severamente o cronograma do projeto. Por conta disso esse equipamento não foi escolhido para validar o processo de corte à quente. Nas Figuras 5 e 6 pode-se observar o equipamento como um todo e sua lâmina adquirida separadamente.

Figura 5 - HSG-G1-VW



Fonte: (HSGM, 2018)

Figura 6 - Lâmina HSGM para reprodução análoga ao disco de corte



Fonte: (HSGM, 2018)

Outra possível solução foi encontrada com a empresa americana Abbeon que têm características semelhantes ao do fornecedor alemão. O ZETZ-24 é usado para cortar diversos tipos de termoplásticos, inclusive poliestireno. O aquecimento de sua lâmina também é instantâneo e feito para operações industriais. Dependendo do tipo de lâmina sua temperatura pode chegar até 760°C e também possui um módulo de controle de temperatura analógico por meio de um potenciômetro. O obstáculo para a escolha foi também no preço de U\$1,725.00 e também o tempo de espera elevado para a aquisição por ser fabricado fora do Brasil. As Figuras 7 e 8 ilustram respectivamente o equipamento e seu filamento de corte.

Figura 7 - ZETZ-24



Fonte: (ABBEON, 2018)

Figura 8 - Lâmina Abbeon para reprodução análoga ao disco de corte



Fonte: (ABBEON, 2018)

Os filamentos laminares de todas as empresas pesquisadas são moldáveis e podem reproduzir o formato circular já empregado no disco de abrasão de 6 polegadas que funciona na máquina da SRS Surfboards representado pela Figura 9.

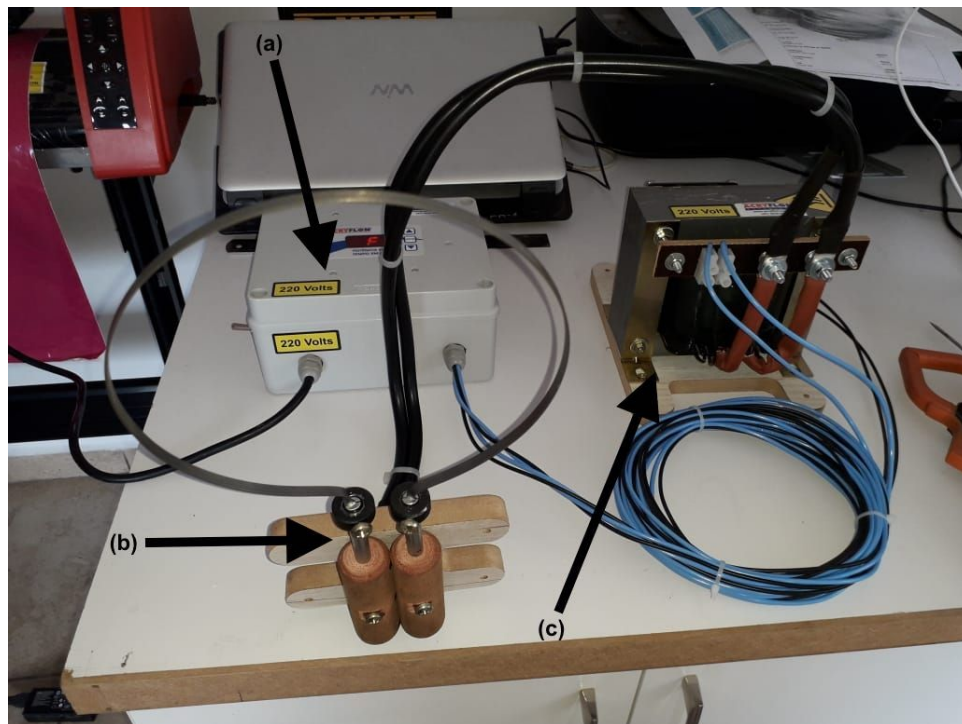
Figura 9 - Disco de corte abrasivo da SRS Surfboards



Fonte: Elaborado pelo autor

A última empresa que apresentou-se condições favoráveis às necessidades do projeto foi a brasileira Acryflon, localizada em Blumenau. Esta mostrou-se com condições similares das outras empresas já destacadas, porém com o preço bem inferior e condizente com o orçamento estimado. Além disso, ao entrar em contato com o fornecedor e apresentar a ideia do estudo este ofereceu suporte para o desenvolvimento e entrega do equipamento. O fato da mesma ter a localização próxima de Florianópolis, local onde realizou-se todo o experimento, também foi fundamental para a decisão de adquiri-lo. O equipamento completo pode ser visto na Figura 10 com a legenda indicando seus módulos.

Figura 10 - Modelador de EPS Acryflon tipo faca à quente (a) Gabinete para controle de potência, (b) Suporte de fixação com o elemento resistivo, (c) Trafo de corrente contínua



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2. Detalhamento da ferramenta escolhida

O equipamento foi recebido separadamente em três partes que são:

- Gabinete para o controle de potência;
- Trafo de corrente contínua;
- Suporte de fixação com o elemento resistivo.

A primeira é o gabinete para o controle de potência. Este que é realizado pela manipulação do ângulo de fase da corrente alternada. Os componentes, observado nas Figuras 11 e 12, que constituem esse módulo são:

- Painel termoplástico com fusíveis de proteção de 10A;
- Dimmer para controle de potência digital de 0-500W;

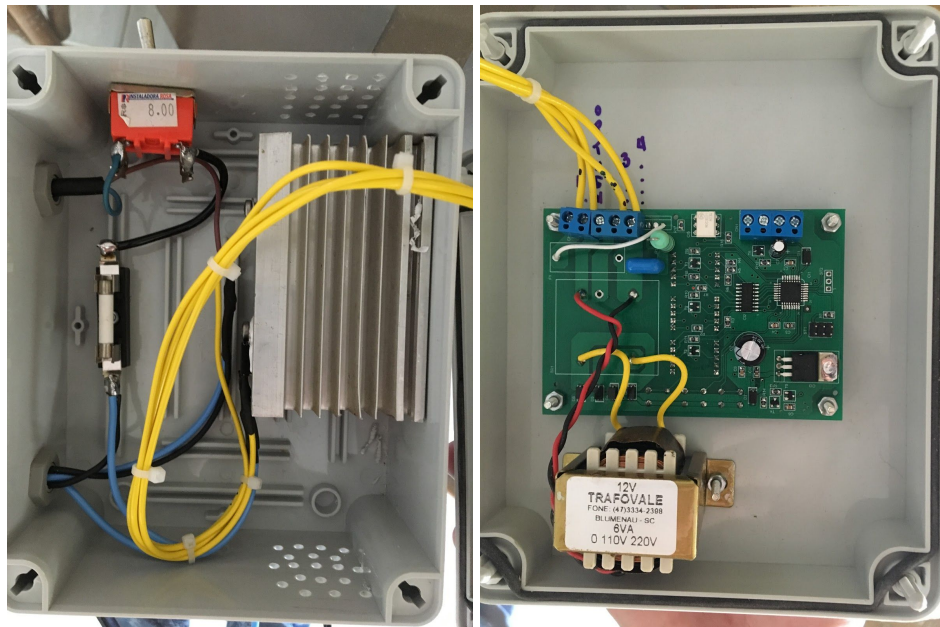
- Controle do Dimmer por TRIAC BTA41-600 40A;
- Dissipador de alumínio para BTA;
- Chave liga/desliga;

Figura 11 - Gabinete desligado e fechado



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12 - Gabinete aberto

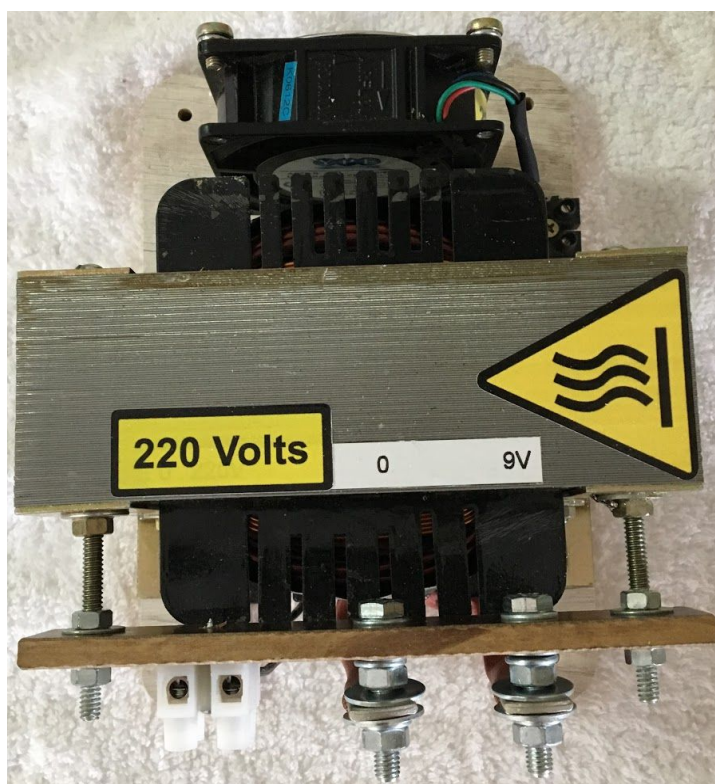


Fonte: Elaborado pelo autor

A segunda a ser destacada é o trafo de corrente contínua ilustrado na Figura 13. Seu descritivo técnico consiste nas seguintes especificações:

- Tensão no primário: 220V;
- Tensão no secundário: 9V;
- Corrente no primário: 2,8A;
- Corrente no secundário: 70A;
- Potência nominal: 630 VA;
- Ventilação forçada por ventoinha de 80x80mm de 220V;

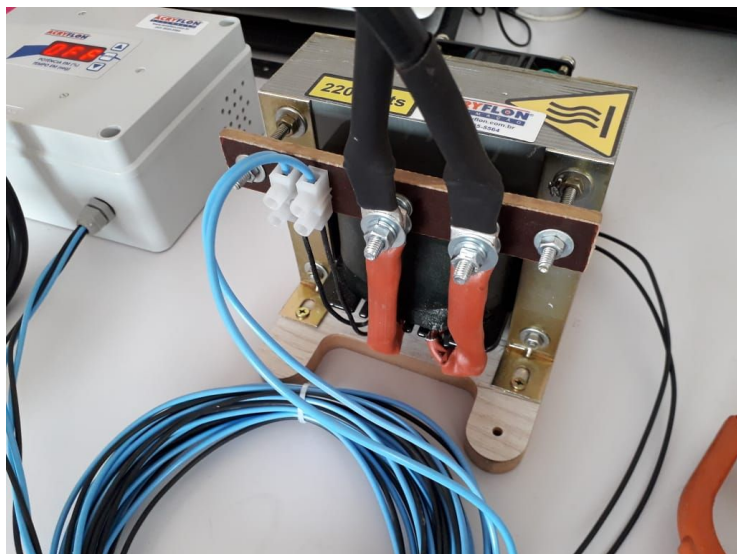
Figura 13 - Trafo de corrente contínua



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a conexão desta com o gabinete para o controle de potência utilizou-se cabos elétricos comerciais com os mesmos diâmetros na cor azul para o trafo e preta para a ventoinha.

Figura 14 - Conexão dos cabos elétricos entre o trafo e gabinete



Fonte: Elaborado pelo autor

No acoplamento do trafo com o suporte de fixação, como pode ser visto na Figura 14, usou-se um cabo de alimentação de 25mm². E pela Figura 15 compreende o suporte de fixação do elemento resistivo com isolamento térmico na sua extremidade em Celeron.

Figura 15 - Cabo de alimentação 25mm² com isolamento de Celeron



Fonte: Elaborado pelo autor

A lâmina utilizada, Figura 16, foi a fita de níquel cromo 80/20 com seção retangular de 5x1mm. Antes de receber o equipamento foram enviadas amostras de ensaio para o fornecedor a fim de já ajustar o transformador e o *dimmer* de controle adequadamente. A temperatura nominal é de 500°C e a resistência específica da fita de corte é de 0,3 Ohm por metro.

Figura 16 - Elemento resistivo tipo fita níquel cromo



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3. Ensaios preliminares

Ensaios de corte foram realizados de forma manual e com variação dos parâmetros de temperatura e velocidade de corte. A principal dúvida acerca da viabilidade do processo girava em torno das condições de corte por longos comprimentos sobre o bloco de EPS. Em vídeos promocionais divulgados na internet o corte é realizado de forma lenta e em comprimentos limitados.

A empresa SRS Surfboards foi a responsável por disponibilizar as amostras para testes. Conectou-se o equipamento de corte à energia, ligou-se a chave, apertou-se no botão "*enter*" e em 15 segundos notou-se a mudança de temperatura

pela transmissão do calor por radiação. De acordo com a Figura 17, tornou-se visível essa modificação pela alteração de cor do metal. No *display* do controlador ficou registrado em uma temperatura de 250°C da qual já havia sido determinado pelo fornecedor de acordo com o diâmetro do anel de corte de seis polegadas, aproximadamente 15 cm. Foi deixado o aparato ligado por aproximadamente 20 minutos sem a realização das experimentações e não houve problemas com o funcionamento contínuo do equipamento.

Figura 17 - Modelador de EPS Acryflon ligado



Fonte: Elaborado pelo autor

Depois disso, realizou-se os testes com algumas amostras para pesquisa. No caso do projeto escolheu-se analisar três amostras das inúmeras realizadas. Mesmo sabendo que a toxicidade da fumaça do EPS é consideravelmente menor do que aquela liberada por outros materiais comumente utilizados, utilizou-se máscara para evitar a inalação dos gases expelidos com a combustão do EPS em contato com a faca. O resultado do corte pode ser observado nas Figuras 18, 19 e 20.

Figura 18 - Amostra A



Fonte: Elaborado pelo autor

Percebeu-se pela cor escura formada na margem da amostra a necessidade de controlar o avanço de corte de acordo com a temperatura. Isso porque quanto mais devagar a lâmina foi introduzida manualmente no EPS maior foi a combustão. Por conta disso, realizou-se outro teste com uma amostra menor mas com uma velocidade maior. Na Figura 19 notou-se um aspecto heterogêneo na amostra B. No começo do corte houve uma combustão maior do que no final. É possível observar esse comportamento pelo tom escuro no resultado do começo do corte até um tom mais claro no final por causa da perda de temperatura da lâmina resistiva com a troca de calor com o EPS.

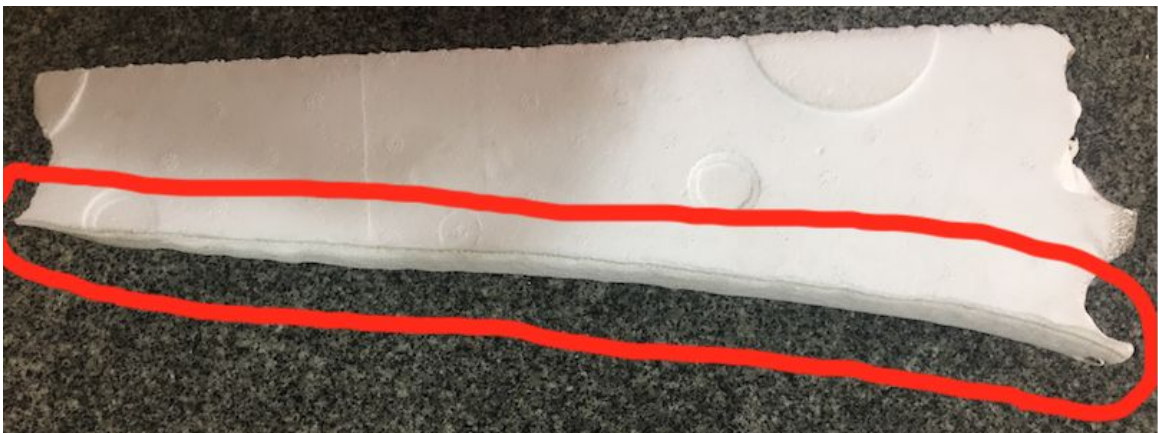
Figura 19 - Amostra B



Fonte: Elaborado pelo autor

Houve ainda uma terceira amostra para análise depois do corte. Notou-se que depois do contato com o calor e ocorrida a combustão, as propriedades mecânicas do material mudaram pois criou-se uma camada mais dura da qual tornou-se o acabamento manual feito por desbaste mais fácil de ser executado com uma lixa de granulometria maior como pode ser observado dentro do contorno vermelho na Figura 20. Não foi possível medir a quantidade de EPS derretido pois a cada amostra houve um comportamento diferente.

Figura 20 - Amostra C



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final dos testes identificou-se uma deformação do filamento resistivo por conta das forças de reação do EPS sobre a lâmina em alta temperatura. Nota-se na Figura 21 a reação assimétrica da geometria circular do filamento por culpa dessa alteração.

Figura 21 - Deformação do filamento resistivo



Fonte: Elaborado pelo autor

3.4. Avaliação da ferramenta

Baseado nos testes realizados foram observados fenômenos e limitações físicas que levaram a reprovação da ferramenta avaliada. A troca de calor entre a fita de nicromo e o EPS proporcionou uma diminuição rápida da temperatura que por consequência prejudicou o corte contínuo. Sem a devida compensação a regeneração do calor trocado impunha uma velocidade de corte cada vez menor. Essa limitação física não prejudicou o resto da lâmina que continuou com a temperatura elevada. Como pode ser observado na Figura 22 e destacado no

retângulo em vermelho que apenas no local onde houve o contato com o corte não estava na mesma radiação de calor comparado ao resto da lâmina.

Figura 22 - Troca de calor da fita com o EPS



Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, a deformação que pode ser vista na Figura 21 da seção 3.3 foi outra limitação física imposta pela falta de rigidez da ferramenta comercial. Deformações dessa magnitude comprometem a compensação de raio feita pelo sistema CAM Shape 3D®, o que leva a desvios geométricos inaceitáveis na prancha de surfe.

Outro ponto negativo foi a geração de fumos em função do acúmulo de resíduos de EPS na lâmina de corte. Além disso, o material residual amolecido é transferido em parte para a superfície da prancha prejudicando o seu acabamento.

Com base nas observações apontadas a ferramenta adquirida foi desqualificada. A necessidade de se desenvolver uma solução específica para a área de surfe ficou clara e alguns princípios de solução foram estudados. A seção

seguinte apresenta uma proposta para resolver os principais problemas apontados pelos ensaios preliminares.

3.5. Proposta de uma nova ferramenta

Nesta seção será apresentado o projeto conceitual de uma ferramenta de corte à quente com atenção aos requisitos da aplicação em pranchas de surfe em EPS.

A necessidade de se desenvolver uma nova solução é justificada pela inviabilidade do uso direto de equipamentos comerciais em operações de corte automático. Nos ensaios realizados destacou-se problemas na dificuldade de conservação de forma da ferramenta e na manutenção de sua temperatura.

Outro requisito fundamental encontra lugar no âmbito do sistema CAD/CAM. A nova ferramenta deve ser passível de configuração no software Shape3D®.

Os subtópicos seguintes discutem os requisitos de maior importância e apresentam o conceito escolhido para a ferramenta de corte.

3.5.1. Definição de novas ferramentas no CAD/CAM Shape 3D®

O software Shape 3D® contém inúmeros recursos de edição e de configuração para atender diferentes modelos de máquinas CNC. Estão contemplados: configurações cinemáticas da máquina, formato das trajetórias de corte, especificidades da linguagem do controlador CNC, do sistema de fixação da prancha e naturalmente da geometria da ferramenta de corte.

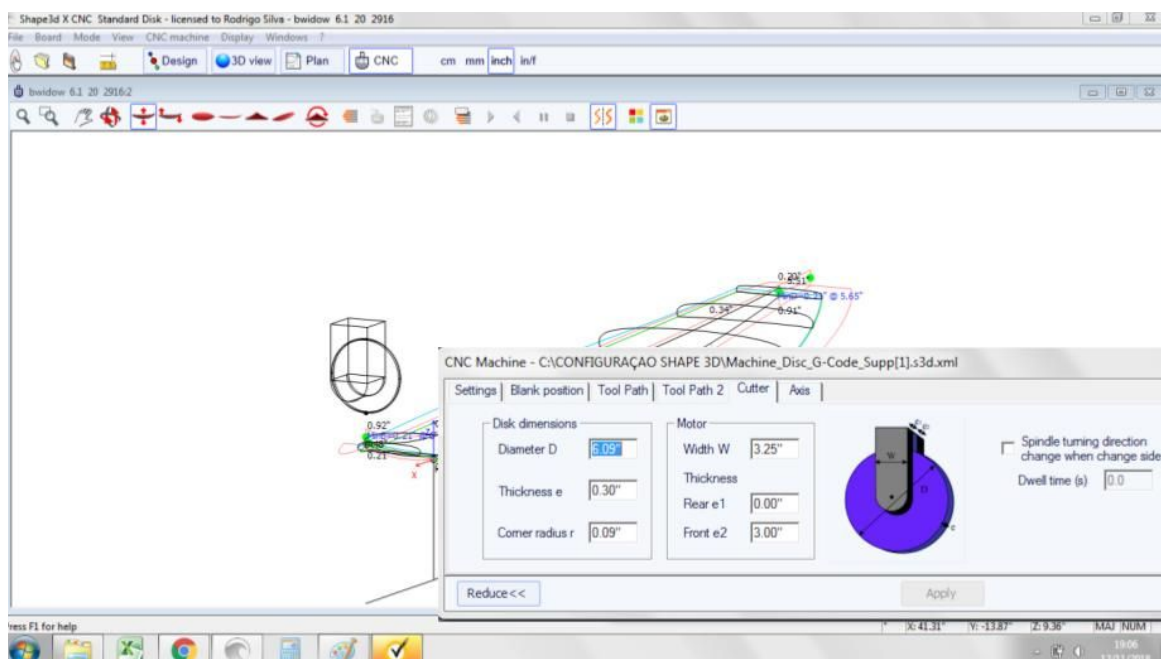
Para garantir a aplicabilidade da ferramenta proposta levantou-se as possibilidades de configuração do Shape 3D. Encontram suporte as geometrias de ferramenta cilíndricas, esféricas, toroidais e em formato de disco.

Em particular o formato disco chamou a atenção dentre as possíveis soluções. Verificou-se que o software apresenta compensação de geometria

completa, ou seja, tanto o raio como a espessura do disco são compensados para o cálculo do contato ferramenta-superfície da prancha.

Na Figura 23 é possível observar a opção de configuração da ferramenta na aba "Cutter" a opção "Diameter D" e do lado uma caixa de diálogo para preencher o valor em polegadas e aplicar com a medida do diâmetro total do disco condizente à ferramenta projetada. Embaixo disso, a opção "Thickness e" é responsável para a edição da espessura da lâmina. Todas apresentam a mesma unidade de medição que pode ser em centímetros, milímetros ou polegadas. Há também a possibilidade de editar todas as dimensões do resto do equipamento, denominada como motor no manual do software, como por exemplo a largura o comprimento e altura do suporte do aparato projetado representados pelas letras *W*, para a largura do gabinete, *E1*, para o comprimento na extremidade de trás até o disco e *E2* para o comprimento na parte frontal até o disco. Essas três variáveis são utilizadas para calcular a parte mais baixa da borda que pode ser cortada com o *deck* sem tocar o suporte no bloco.

Figura 23 - Compensação do equipamento de corte do software Shape 3D®

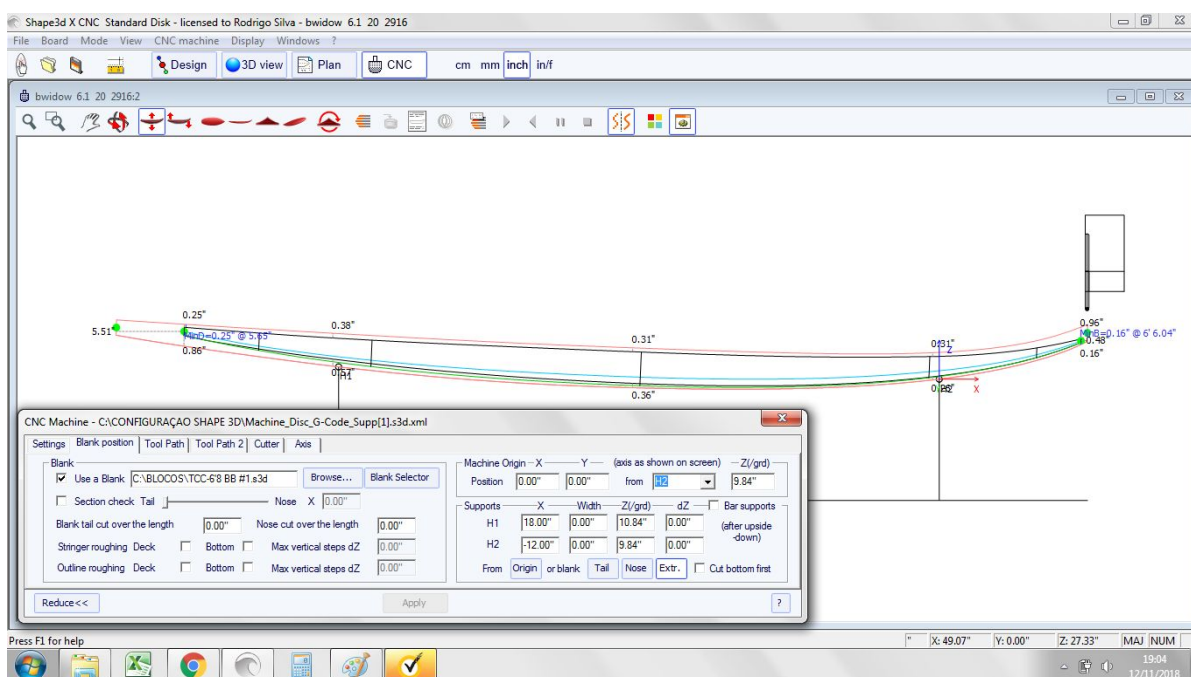


Fonte: Elaborado pelo autor

Na mesma alternativa de configuração de ferramenta, todavia na aba "*Blank position*", configura-se a posição de fixação do bloco na máquina. No caso da máquina da SRS Surfboards a imobilização é feita no meio do bloco por dois suportes. Ou seja, a partir do zero-ferramenta visto na Figura 24 a partir do H2, segundo suporte de fixação do bloco da prancha no meio da máquina, em "*Machine Origin*", aplica-se os valores para coincidir a posição real da ferramenta na máquina com a virtual do software.

Existe a possibilidade de salvar um modelo de documento e usufruir diferentes tipos de ferramentas com suas respectivas compensações. Além disso consegue-se dimensionar na opção "*Supports*" a posição de fixação H1 e H2 do bloco da prancha na máquina em relação ao zero-ferramenta.

Figura 24 - Configuração da posição de fixação do bloco na CNC

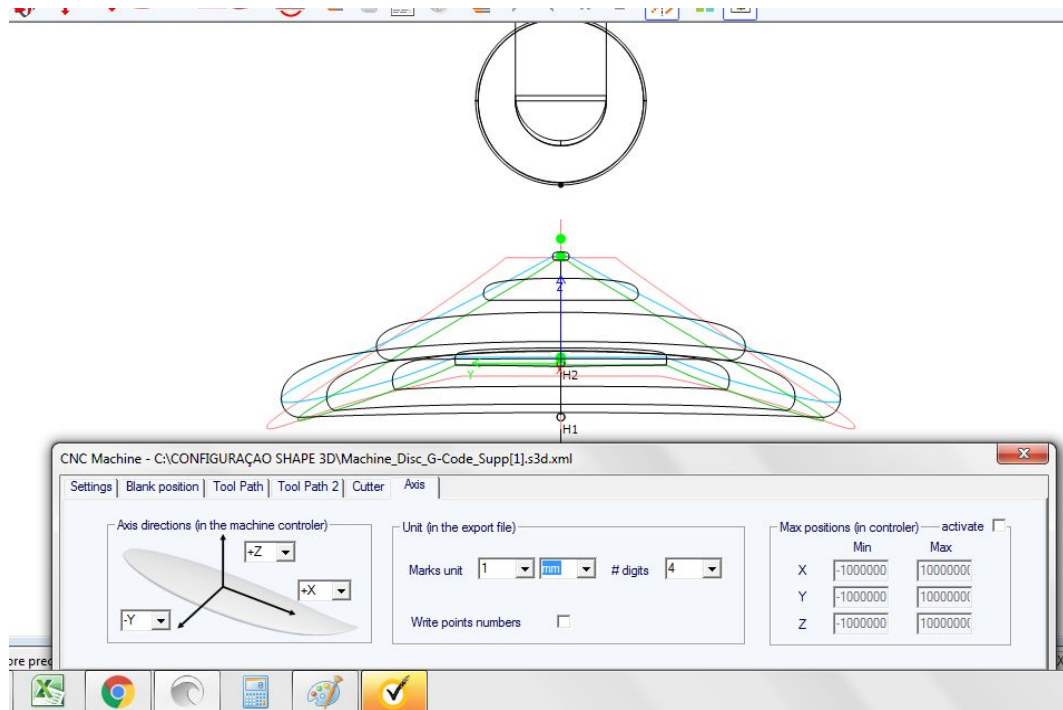


Fonte: Elaborado pelo autor

Em "*Axis*" determina as coordenadas de acordo com o controlador da máquina e relativo ao bloco como pode ser visto na Figura 25 em "*Axis directions*". E

também, em "*Unit*", determina-se a unidade de deslocamento de cada eixo e a representação do valor do deslocamento.

Figura 25 - Configuração das direções e unidade das coordenadas XYZ



Fonte: Elaborado pelo autor

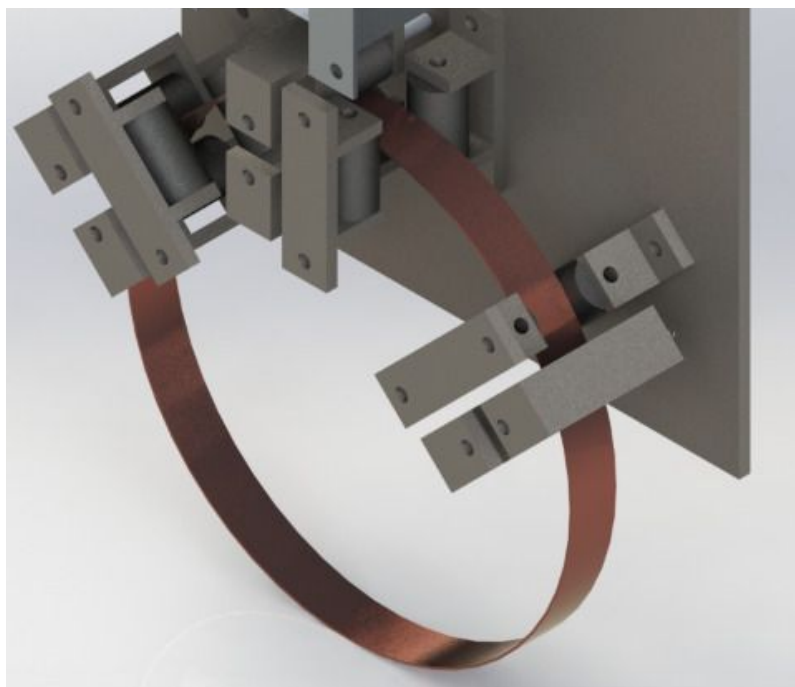
3.5.2. Conservação da estrutura do anel de corte

Como visto na seção 3.3 a deformação ocorrida pelo excesso de esforço exigido para o corte inviabiliza o processo. Neste sentido, propõe-se a instalação de três guias em configuração de rolos cruzados. O arranjo lembra uma calandra. Há também a necessidade de um movimento de compensação das guias com o anel. A quantidade delas baseou-se no princípio geométrico de que três pontos não alinhados no plano definem uma circunferência.

Duas roldanas terão ainda a subfunção de contato elétrico. O fato de fixá-las próximo de 180 graus faz com que parte da dilatação do anel seja distribuída para cima e não totalmente para baixo onde realiza-se o corte para não afetar a

compensação da ferramenta. Além de que na usinagem das bordas há uma liberdade para o corte pelas laterais da ferramenta.

Figura 26 - Guias da faca quente anelar e rotativa



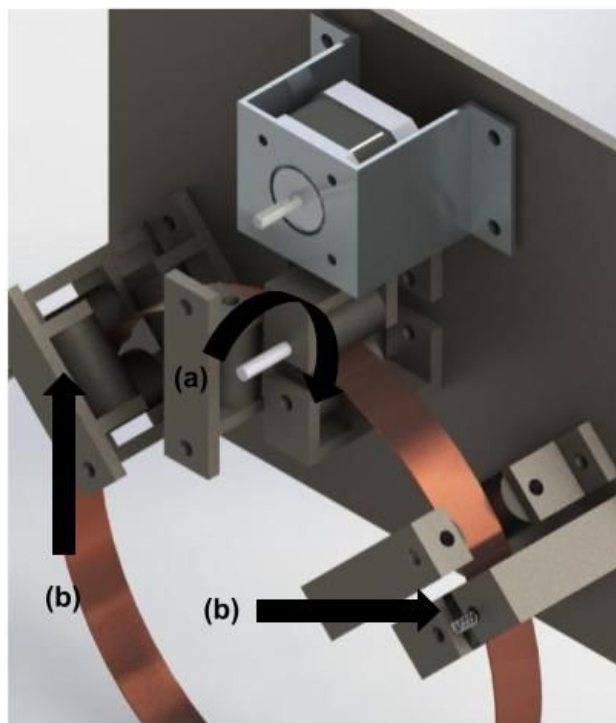
Fonte: Elaborado pelo autor

Serão quatro rolos em cada guia como pode ser visualizado na Figura 26. Sendo que três desses rolos são fixos e o outro seria acoplado uma mola para evitar problemas com dilatação do material.

3.5.3. Regeneração do calor da lâmina

Para lidar com esse problema, desenvolveu-se um sistema de rotação contínuo e de velocidade ajustável do anel de corte. A rotação é provida por um motor acoplado a roldana superior. Na Figura 27 o motor e a adaptação de um eixo para uma das guias proporcionar a tração da lâmina. A transmissão do movimento pode ser feita através de polia e correia.

Figura 27 - Acoplamento de um sistema rotacional. (a) roldana tracionadora, (b) roldana de contato elétrico.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com isso, na medida em que a faca estiver cortando ao longo do bloco de EPS sua temperatura estará mais estável pois haverá um tempo de recuperação do calor no terço superior do anel.

A rotação do anel também facilitará a limpeza do anel de corte evitando que se acumulem resíduos de material.

3.5.4. Contato elétrico no anel rotativo

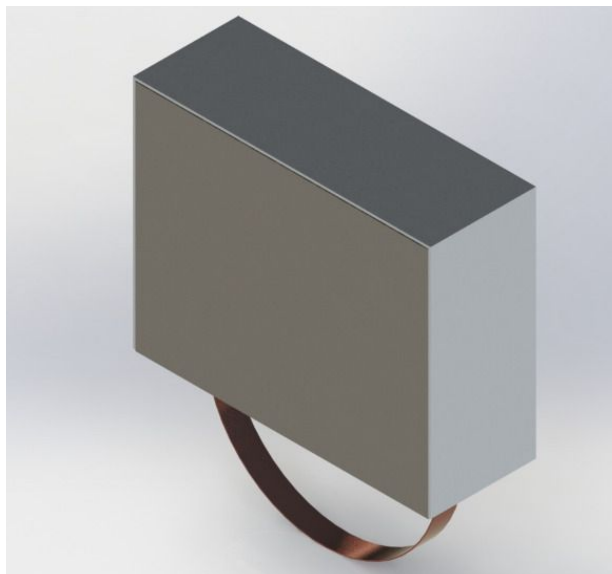
Para a geração de calor para o aumento de temperatura no anel determinou-se pela condução de corrente elétrica por contato em dois rolos

condutores nas duas guias laterais, como pode ser visto na Figura 27. A corrente elétrica vai se deslocar por um fio energizado acoplado em um rolo, se dividirá por dois, pois haverá passagem tanto por cima do arco quanto embaixo de onde está essa guia e deslocará pelo outro lado unido por mais um fio ao rolo na outra extremidade. Com isso, o anel possuirá uma resistência elétrica da qual proporcionará um aumento de temperatura. Por conta disso, sabe-se que haverá uma dilatação térmica do material e para que esse fenômeno não seja um problema será acoplado molas nas guias para a compensação dessa expansão. Nota-se que os rolos que funcionam apenas como guias necessitam que o material seja isolante, assim como a caixa que serve de estrutura para a fixação dos componentes.

3.5.5. Conceito final da nova ferramenta

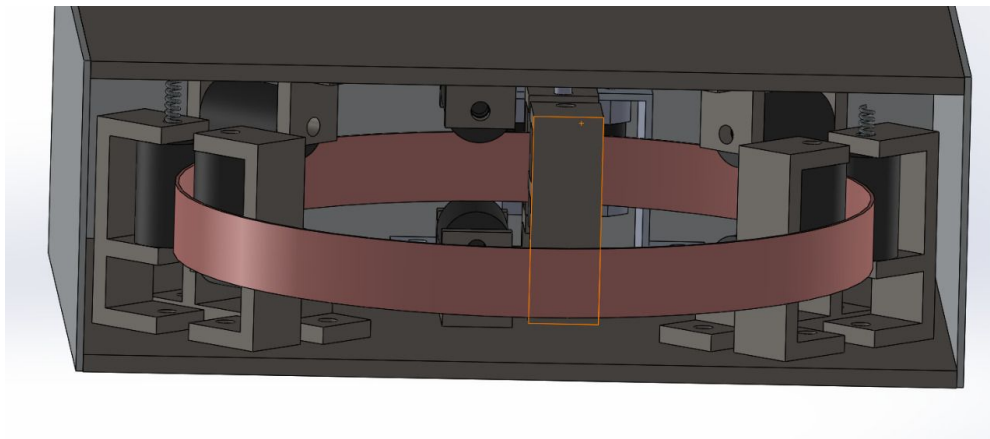
As Figuras 28 e 29 ilustram a ferramenta proposta com a proteção mecânica. A integração ao eixo “Z” da máquina CNC deverá ser facilitada graças ao seu formato compacto.

Figura 28 - Conceitual da nova ferramenta



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 29 - Conceitual da nova ferramenta visualizada por baixo



Fonte: Elaborado pelo autor

4. CONCLUSÃO

Através da Fundamentação Teórica, atingiu-se melhor compreensão dos assuntos abordados, como o software Shape 3D®, o Poliestireno Expandido, máquinas CNC para *preshape* de pranchas e o processo de corte à quente.

Conhecimentos e habilidades adquiridos nas unidades curriculares do curso de Engenharia Mecatrônica, como Elementos de Máquina, Comando Numérico Computadorizado, Manufatura Assistida por Computador, Acionamentos Eletromecânicos, Metrologia e Ciência e Tecnologia dos Materiais foram fundamentais para o desenrolar do projeto.

Os suportes da empresa SRS Surfboards e dos docentes do Instituto Federal de Santa Catarina proporcionaram todos os meios físicos e intelectuais necessários para atingir o resultado.

Após a aquisição do equipamento, foram feitos ensaios preliminares que representaram na desqualificação de facas quentes comerciais para o uso no corte automatizado de EPS.

Por conta disso, o presente trabalho apresentou um novo conceito de ferramenta de corte baseada na faca anelar e rotativa. Existe a expectativa de que esse tipo de ferramenta trará um desempenho positivo e por isso serão realizados ensaios para verificar o real comportamento do equipamento. Necessitará analisar a velocidade recomendada para que tenha a regeneração completa do calor no anel e se as guias fundadas nos três conjuntos de roldanas são suficientes para manter a circularidade do mesmo.

A partir do projeto conceitual proposto neste trabalho a empresa SRS Surfboards fará os testes sugeridos com o intuito de verificar a validade da proposta e suas potencialidades para a instalação da mesma em uma máquina CNC.

REFERÊNCIAS

EPS – **Poliestireno Expansível**. Comissão Setorial, (2007). Disponível em <[http:// www.epsbrasil.eco.br/](http://www.epsbrasil.eco.br/)> Acesso em: 02 set 18.

SORIMA NETO, João. **Surfe movimenta R\$ 7 bi ao ano em roupas, pranchas e acessórios**. 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/surfe-movimenta-7-bi-ao-ano-em-roupas-pranchas-acessorios-20547660>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

ZAMBON, Matheus Moraes; LUNA, Mônica Maria Mendes; CAMPOS, Lucila Maria de Souza. PRANCHAS DE SURFE DE DIFERENTES MATERIAIS: Uma Análise da Logística Reversa. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 139-156, jan./abr. 2016.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Volume 3. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

SILVA, Rodrigo. **A História da SRS Surfboards**. Disponível em: <<http://srssurfboards.com/site/historia/>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

GRIJÓ, Paulo Eduardo Antunes et al. **Alternativas de recuperação dos resíduos sólidos gerados na produção de pranchas de surfe**. 2004.

VANDRESEN, M. **Fresamento de cavidades auxiliado por computador, na indústria de moldes para plástico**. 1997. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

LACERDA, H. B.; FILHO, J. B.; SIQUEIRA, I. L. **Mesa xy para corte e solda de chapas metálicas controlada pela porta USB**. 3º COBEF, Joinville, 2005.

CARIOCA FIGUEIREDO, Flavio. **Qual é o principal conceito do sistema keahana?**. 2009. Disponível em: <<http://www.keahana.com/brasil/perguntas-frequentes.php>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

ABRAPEX, **Associação Brasileira do Poliestireno Expandido**. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br/>> Acesso em: 05 nov 2018

SMID, P. **CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming**. Norwalk, Industrial Press Inc., 2003.

LEÃO, Luciano. **Sobre**. 2017. Disponível em: <<https://www.surface.com.br/sobre>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BELL, C. **Maintaining and Troubleshooting Your 3D Printer**. New York: Apress, 2014.

GESSER, Felicio José; POZZOBON, Felipe Rocha; BONACORSO, Nelso Gauze. **Desenvolvimento e construção de uma fresadora CNC de baixo custo destinada a confecção de pranchas de surf**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 4., 2007, Estância de São Pedro. **Anais...** . Florianópolis: Cobef, 2007. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2007/files/node190.html>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

HSGM USA - Heat Cutter, Hot Knife, Soldering Iron Specialists. Disponível em: <<https://www.hsgmusa.com/>>. Acesso em: 16 out. 2018.

ABBEON. Disponível em: <<https://www.abbeon.com/Item--i-zetzhotknife>>. Acesso em: 17 out. 2018.

SHAPE 3D. **The CNC option**. Disponível em: <<https://www.shape3d.com/Products/CNCOption.aspx>>. Acesso em: 29 nov. 2018.