

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA FRESADORA CNC DE BAIXO CUSTO DESTINADA A CONFEÇÃO DE PRANCHAS DE SURF

Felicio José Gesser

Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Gerência de Metal-Mecânica, Av. Mauro Ramos, 950, Centro, 88.020-300, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: fgesser@cefetsc.edu.br

Felipe Rocha Pozzobon

Rodovia SC 406, 4734, Armação do Pântano do Sul, 88.066.000, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: frpozz@gmail.com

Nelso Gauze Bonacorso

Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Gerência de Metal-Mecânica, Av. Mauro Ramos, 950, Centro, 88.020-300, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: nelso@cefetsc.edu.br

Rodrigo Silva

Rua Servidão João Manoel dos Santos, 203, Armação do Pântano do Sul, 88.066.347, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: srssurfboards@hotmail.com

Resumo. *As pranchas de surf são produzidas de forma manual por profissionais conhecidos como shapers ou automática por fresadoras com comando numérico computadorizado. O processo manual, além de ser demorado, apresenta problemas de simetria longitudinal e de repetitividade. No processo automatizado estes problemas são minimizados, porém o custo para aquisição de uma fresadora CNC dedicada a esta tarefa é elevado. Entre os componentes deste equipamento a unidade de controle de movimento possui o custo mais significativo. Nesse contexto, o presente trabalho trata do desenvolvimento e construção, para uma empresa local, de uma fresadora para confecção de pranchas de surf acionada por um controlador CNC de baixo custo baseado em PC, o DeskCNC[®]. Este trabalho inicia com uma descrição da estrutura mecânica da fresadora e do sistema de fixação do bloco de poliuretano expandido. A seguir são apresentados as tecnologias empregadas no acionamento dos eixos e os diagramas elétricos e eletrônicos de comando, proteção, isolamento e adequação de sinal. Na seqüência é mostrado o potencial do programa CAD/CAM, shape 3D[®] de procedência francesa, utilizado neste desenvolvimento para executar respectivamente o design da prancha de surf e a geração dos comandos CNC em linguagem G. A trajetória da ferramenta gerada é enviada de forma serial para a placa do controlador CNC que, por sua vez, comanda a rotação do eixo árvore e os movimentos dos eixos X, Y e Z. Por fim, são apresentados os resultados práticos de desempenho do equipamento.*

Palavras-chave: *pranchas de surf, fresadora CNC, automação da manufatura.*

1. INTRODUÇÃO

Conforme citado por Lacerda⁽¹⁾, o emprego de máquinas CNC em processos de fabricação teve o objetivo inicial de buscar soluções que fornecessem um aumento de produtividade e qualidade. Recentemente, em função da redução da vida útil dos produtos e das exigências do mercado consumidor, surge também a necessidade de uma maior flexibilidade nesses equipamentos, para a

fabricação de poucas unidades com características dimensionais diferenciadas, além de geometrias complexas.

Segundo Vandresen⁽²⁾, a tecnologia CAD/CAM veio facilitar a programação de peças complexas, diminuindo o tempo de programação e permitindo que fossem eliminados erros, ainda na fase de projeto, minimizando assim retrabalhos e desperdícios de material bem como tempo de máquina CNC. Além disso, esta ferramenta versátil permite a programação de peças que, pela sua complexidade de formas, não poderiam ser fabricadas com facilidade utilizando recursos convencionais.

Por suas características de flexibilidade e versatilidade citadas anteriormente, máquinas CNC assumem um papel cada vez mais importante nas modernas empresas de fabricação. Entretanto, a tecnologia CNC possui um custo elevado e, muitas vezes, se torna inviável a aquisição pelo pequeno empresário, principalmente o do ramo de confecção de pranchas de *surf*. O desenvolvimento de máquinas CNC que utilizam o mesmo princípio de funcionamento, mas com tecnologias que proporcionam a redução de custos de fabricação e manutenção, contribui de forma significativa para aumentar a competitividade das pequenas empresas do setor de fabricação.

A máquina CNC para usinagem de pranchas de *surf* desenvolvida e descrita neste trabalho, Figura 1, apresenta as seguintes contribuições: placa do controlador de movimento de baixo custo baseado em PC, uso de servo acionamento de corrente alternada no acionamento dos eixos cartesianos e emprego de um *drive* de corrente alternada acionando em alta velocidade o motor de indução do eixo árvore. Como vantagens estas tecnologias proporcionam à máquina CNC uma excelente dinâmica diminuindo com isso o tempo de usinagem, uma maior confiabilidade e uma redução nos custos de manutenção.

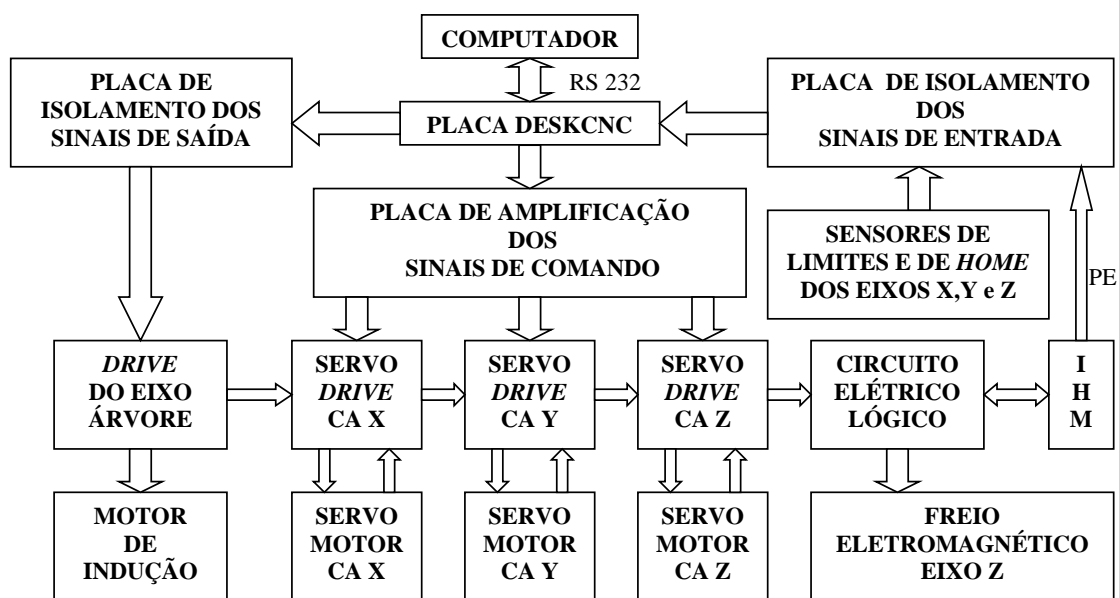


Figura 1. Diagrama de blocos da fresadora CNC desenvolvida

2. DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

A placa eletrônica DeskCNC[®], Figura 1, controla a máquina CNC de usinagem de pranchas de *surf* por meio das placas desenvolvidas de amplificação dos sinais de comando e de isolamento dos sinais de entrada e saída. Por sua vez, a placa DeskCNC[®] é acionada a partir de um computador, canal serial RS232, por meio do programa desenvolvido pelo próprio fabricante da placa DeskCNC^{®(3)}.

As pranchas de *surf* são confeccionadas a partir do processo de usinagem do bloco de poliuretano expandido. Por sua vez, estes blocos são fabricados em diferentes tamanhos padronizados com a forma geométrica próxima de uma prancha de *surf*.

Com o objetivo de aumentar a resistência mecânica das pranchas de *surf* é inserida, durante a fabricação do bloco, uma estreita longarina de madeira na posição central e ao longo de todo o seu eixo longitudinal. As extremidades desta longarina são passantes e são os locais de fixação do bloco à máquina CNC.

A ferramenta, Figura 2a, usada para dar forma à prancha de *surf* é cilíndrica, com ponta esférica e com muitas arestas ponte agudas, similar a uma grossa. Esta ferramenta possui uma proteção superficial ao desgaste de nitreto de titânio podendo cortar lateralmente ou com a sua ponta esférica tanto o poliuretano quanto a madeira da longarina central.

Uma pequena interface homem-máquina (IHM), Figura 2b, foi desenvolvida para o operador comandar a fresadora CNC de qualquer local próximo à máquina. Suas principais funções são: habilitar ou não o eixo árvore, pausar ou continuar a trajetória de fresamento, habilitar ou desabilitar os sensores de fim de curso dos eixos, ligar, desligar e parar a máquina CNC.

A construção da fresadora CNC de pranchas de *surf*, conforme mostra a Figura 2, somente foi possível pela integração do conhecimento das três grandes áreas da automação industrial: mecânica, eletroeletrônica e programação descritas a seguir.

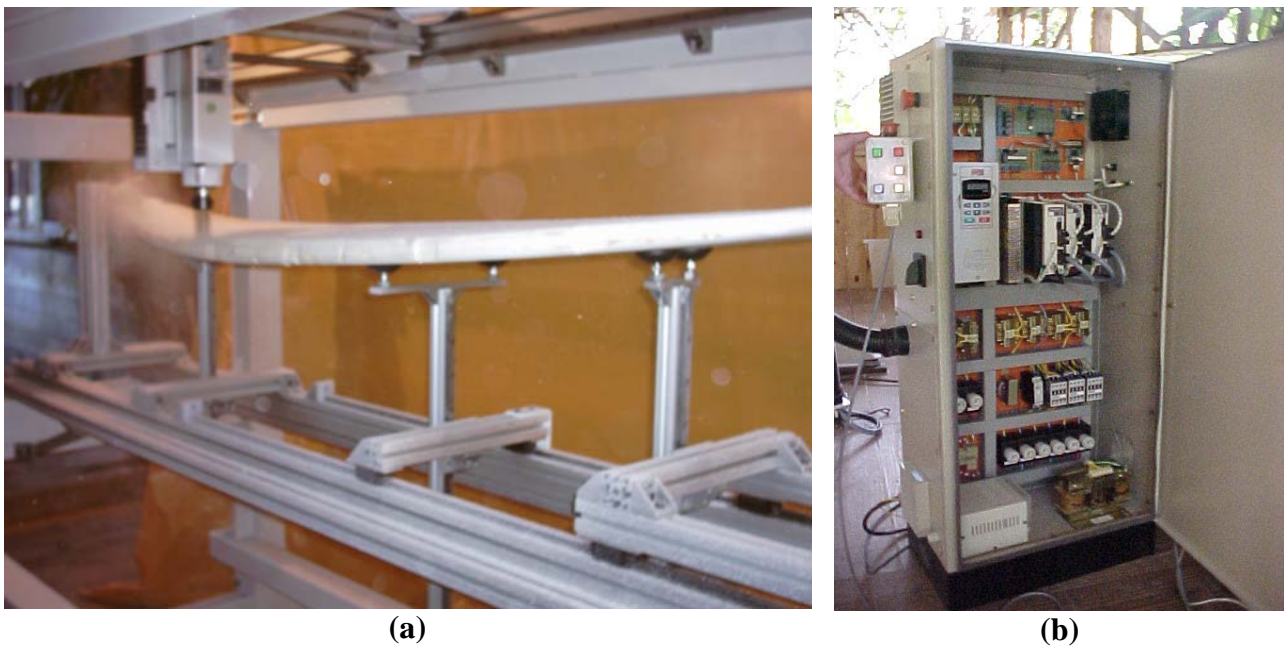


Figura 2. Fresadora CNC. Em (a), a máquina em operação e em (b), o painel elétrico e a IHM

2.1. Projeto Mecânico

O conceito final da máquina CNC desenvolvida baseia-se na configuração do tipo ponte rolante (Gantry). Neste caso o bloco de poliuretano permanece parado enquanto a ferramenta executa os movimentos de avanço X, Y e Z. Esta máquina, Figura 3, possui volume de trabalho de 3200x700x300 mm. Pranchas de *surf* tipo *longboard* com comprimento de até 3150 mm podem ser trabalhadas graças à flexibilidade do sistema de fixação.

A estrutura de base é composta por módulos de tubos de aço soldados. Estes módulos são integrados aos demais por flanges, uniões parafusadas. A opção por uma estrutura modular vem atender os requisitos de flexibilidade, facilidade de transporte e alinhamento mecânico. A flexibilidade dessa estrutura permite a obtenção de máquinas com diferentes comprimentos, cursos, em tempos menores.

Na estrutura dos carros X, Y e Z foram empregados perfis em alumínio. Essa solução mostrou-se muito viável, já que o esforço mecânico sobre essas estruturas é pequeno e o tempo de mão de obra para a montagem é inferior a cinco por cento do tempo dedicado a estruturas convencionais em aço.

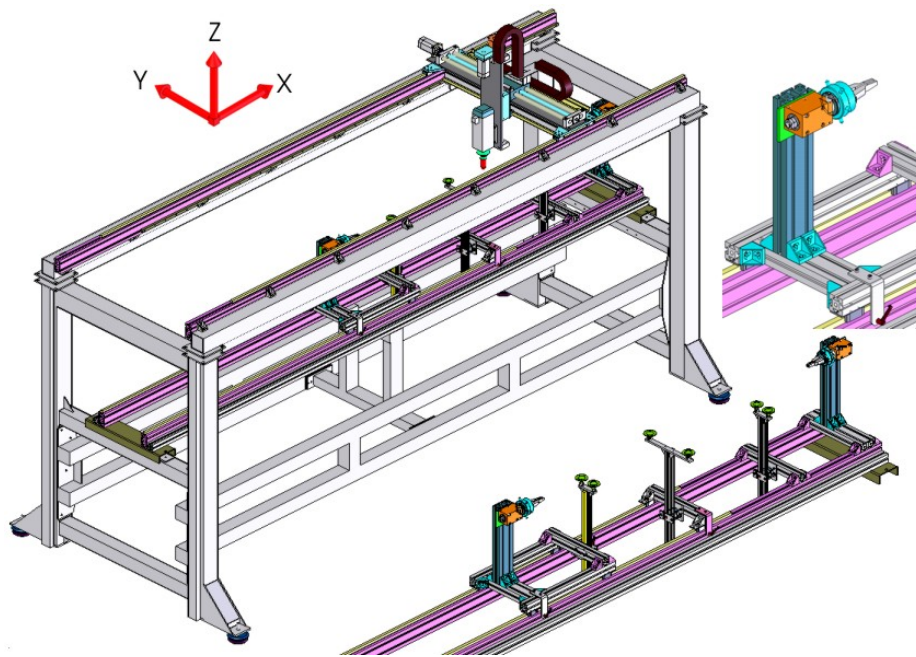


Figura 3. Projeto mecânico da fresadora CNC com os sistemas de transmissão e de fixação do bloco

O carro X, maior curso, desliza sobre guias lineares do tipo trilho com patins. A transmissão de movimento é realizada por dupla cremalheira e pinhão. Um redutor planetário acoplado ao servo motor X foi empregado para estabelecer a correta relação de velocidades. O carro Y é acionado por um fuso de esferas laminado e guiado por eixos lineares e um trilho linear para maior rigidez. O carro Z é constituído de uma mesa deslizante comercial padrão. Um fuso de esferas laminado aciona este eixo. Aqui, um freio eletromagnético de segurança foi instalado para imobilizar o eixo em caso de falta de energia elétrica.

O sistema de fixação da prancha é em grande parte montado com perfis em alumínio e guias lineares. O sistema permite a rápida mudança do lado a ser usinado e a sujeição inferior da prancha através dos três cavaletes internos reguláveis. Nos dois apoios extremos um sistema de pinça giratória foi desenvolvido especialmente para a aplicação. A pinça é acionada manualmente pelo operador da máquina que ajusta a garra na extremidade da longarina da prancha. Essa longarina de madeira possui uma sobra, lingüeta, dos dois lados que é sujeitada pelas garras.

Feito o desbaste do primeiro lado da prancha, os cavaletes internos são baixados e o giro da pinça é liberado. O operador então, inverte a prancha girando-a em torno do seu eixo sem precisar retirá-la das garras.

2.2. Sistema Eletroeletrônico

A Figura 4 mostra o circuito elétrico de potência desenvolvido para realizar o acionamento dos eixos da fresadora. Este circuito é alimentado pela rede elétrica trifásica de 220/380 V - 60 Hz através da chave comutadora tetrapolar CG.

Para o acionamento dos eixos cartesianos deste equipamento foi usado a tecnologia Panasonic⁽⁴⁾ de servo acionamento ca de baixo custo. Neste desenvolvimento foi empregado servo acionamento de 750 W para o eixo X e de 400 W para os eixos Y e Z. Além da excelente característica torque versus velocidade dos servos motores ca os parâmetros de controle de cada eixo são ajustados de forma automática por um programa desenvolvido pelo próprio fabricante. Este processo de ajuste é realizado da seguinte forma: primeiro o servo drive é conectado a um computador via porta serial, a seguir no programa é informado o tipo de acoplamento do respectivo eixo e acionado a função de auto parametrização, em seguida inicia-se no respectivo eixo um movimento oscilante lento de pequeno curso e progressivamente a velocidade deste movimento aumenta até o valor nominal do servo motor, finalmente o servo motor é desacionado e os ganhos da malha de controle são apresentados e salvos no servo drive.

Para o acionamento do eixo árvore foi usado um *drive* ca, 3,7 kW – 0,1/400 Hz, de alto desempenho da Delta Electronics⁽⁵⁾ associado à um motor de indução trifásico especial, 3,5 kW – 18.000 rpm – 300 Hz, do fabricante HSD.

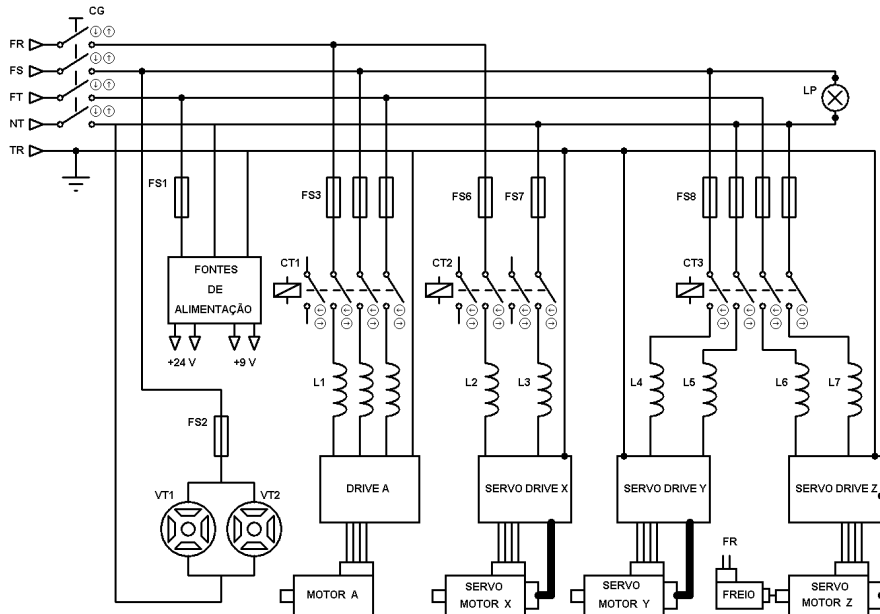


Figura 4. Diagrama elétrico de potência

Um circuito elétrico lógico de intertravamento, Figura 5, foi também construído com a função de verificar o bom funcionamento dos eixos da máquina CNC. Caso os servos *drives* ou o *drive* do eixo árvore ou o operador detecte um problema (sobrecarga, sub tensão, sobre tensão, aquecimento excessivo, etc...), este circuito inibe a máquina CNC e aciona o freio eletromagnético FZ do eixo z, evitando com isso uma possível inutilização do bloco de poliuretano. Este circuito também tem a função de enviar ao controlador da máquina CNC os sinais de *home* dos eixos cartesianos durante o referenciamento e o sinal de limite quando é ultrapassado o volume de trabalho do equipamento.

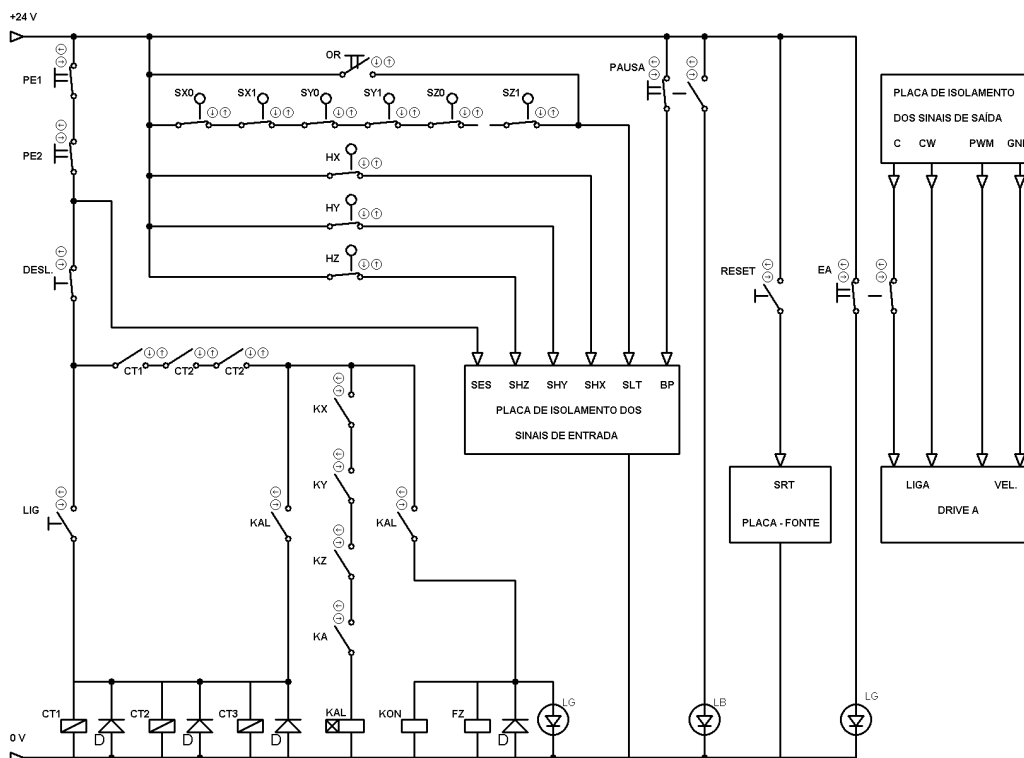


Figura 5. Diagrama do circuito elétrico lógico

Com o objetivo de isolar e adequar sinais elétricos entre a controladora DeskCNC[®], placa localizada na posição inferior direita da Figura 6, e os sensores e atuadores elétricos da máquina CNC foi necessário desenvolver as seguintes placas eletrônicas: isolamento de sinais de entrada, isolamento de sinais de saída e amplificação dos sinais de comando. Estas placas estão situadas respectivamente nas seguintes posições da Figura 6: inferior esquerda, superior central e inferior central. Esta foto também apresenta a placa da fonte de alimentação, 9 Vcc / 1,5 A, da controladora DeskCNC[®], superior direita, e a placa de lógica de proteção dos servo *drives* e *drive*, superior esquerda. Para facilitar o trabalho de diagnóstico de eventual defeito na máquina CNC foi inserido sinalizadores na IHM e nas placas eletrônicas desenvolvidas.

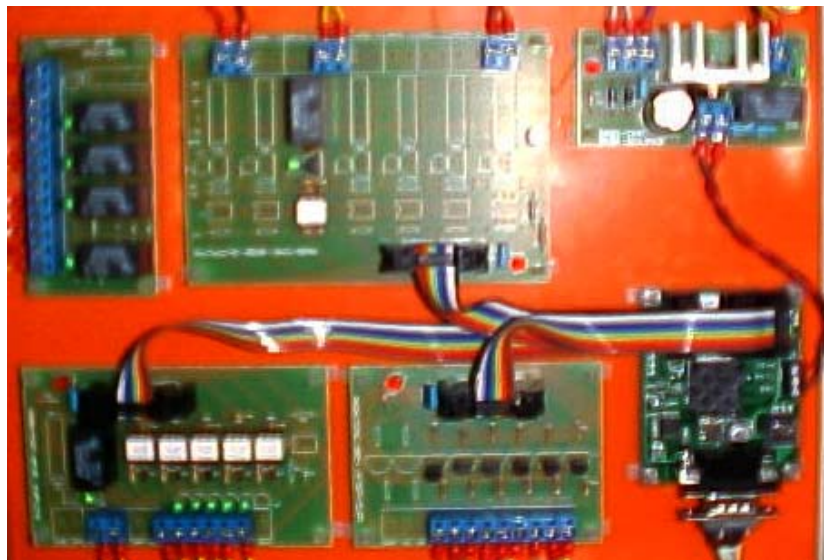


Figura 6. Foto das placas de interface desenvolvidas

2.3. Programação

O programa CAD/CAM, Shape 3D[®], é usado para executar o design da prancha de *surf* e posteriormente a geração dos comandos CNC para a tarefa de usinagem do bloco.

O trabalho inicial do *shaper* consiste em especificar as dimensões e curvaturas da prancha de *surf*. Isso pode ser realizado pela digitação dos valores desejados nas caixas de diálogo e/ou arrastando os pontos de manipulação na área gráfica conforme mostra a Figura 7a.

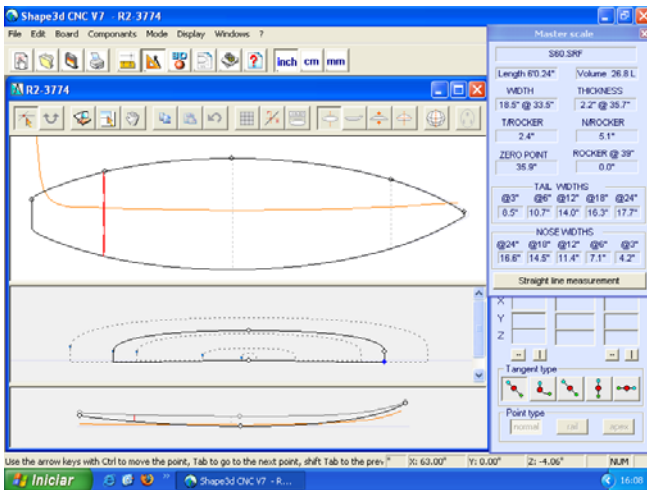
A seguir este profissional visualiza, Figuras 7b e 7c, respectivamente as curvas limites e o sólido da prancha de *surf* projetada. Com base nestas imagens o *shaper* poderá aperfeiçoar o *design* da prancha de *surf* retornando para a tela da Figura 7a ou definir os parâmetros da usinagem para gerar a trajetória da ferramenta, Figura 7d.

Na seqüência, é gerado o arquivo de usinagem da prancha de *surf* contendo os comandos CNC em linguagem G e finalmente transferido, como arquivo de entrada, para o programa DeskCNC[®].

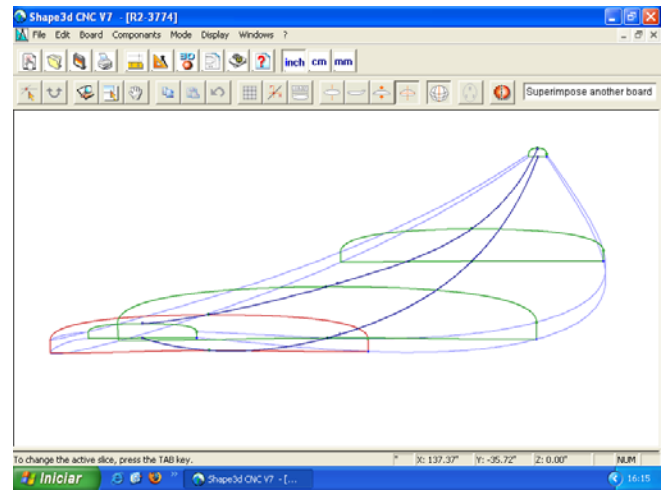
O programa DeskCNC[®] reúne as funções de IHM e interpretador CNC, Figura 8. O software foi desenvolvido inicialmente para aplicações “hobistas”. Várias melhorias introduzidas no software nos últimos anos despertaram o interesse da indústria para aplicações mais profissionais. O software roda em ambiente MS Windows[®] 98/Me/2k/XP sobre um PC padrão.

Os comandos de programação em linguagem G são interpretados, traduzidos em formato proprietário e enviados a placa externa via comunicação serial RS232. Essa placa externa possui um microcontrolador dedicado que gera de forma precisa os trens de pulsos para os servo *drives* e comandos para saídas auxiliares.

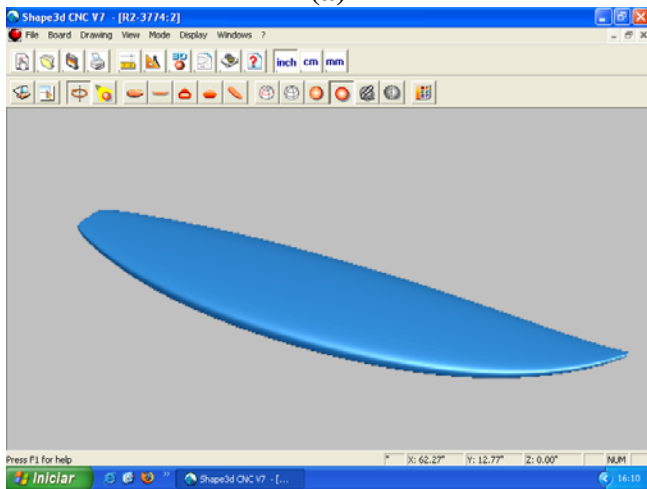
Com o arquivo do programa CNC em mãos, o *shaper* inicializa o *hardware* CNC e em seguida executa o programa DeskCNC[®]. Realiza-se o ciclo de referência da máquina, carrega-se o programa CNC que é rapidamente simulado na área gráfica. Esta visualização das trajetórias de corte fornece ao *shaper* mais uma facilidade de verificação e validação da saída do Shape 3D[®].



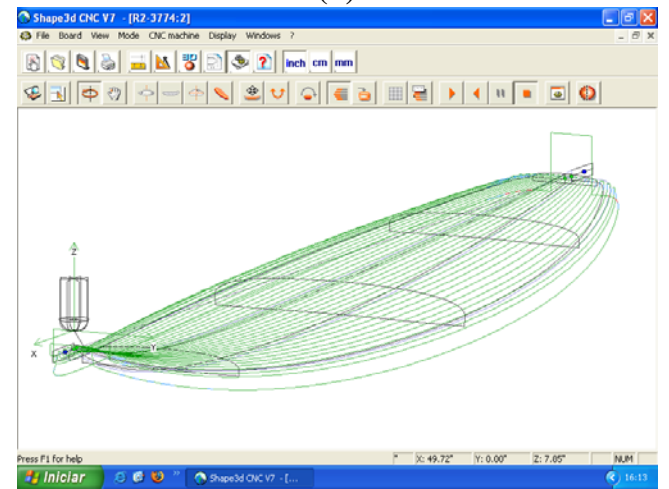
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7. Telas do programa Shape 3D[®]. Em (a), as vistas e dimensões; em (b), as curvas limites; em (c), o sólido e em (d), a trajetória da ferramenta do lado superior da prancha de *surf*

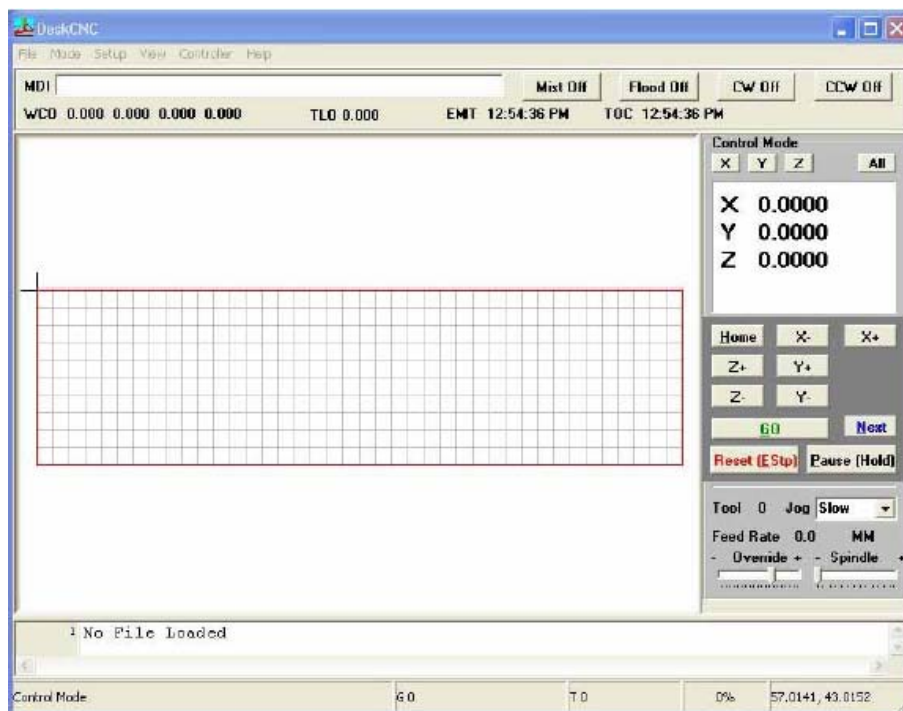


Figura 8. Tela principal do programa DeskCNC[®]

Funções normais de qualquer CNC como parada de avanço, *override*, inicialização no meio do programa estão presentes no controlador DeskCNC[®]. As funções de parada de avanço, parada de eixo árvore e emergência foram implementadas sobre botões físicos que tem conexão direta com a placa DeskCNC[®] externa. Não se tem uma dependência sobre a estabilidade do sistema operacional para funções fundamentais como, por exemplo, parar a máquina imediatamente. Isso torna o controle CNC bastante seguro.

Funções indispensáveis como otimização da velocidade de avanço sobre os pontos programados e alta taxa de processamento de blocos, 300 blocos por segundo, conferem ao controlador DeskCNC[®] um desempenho positivo para a aplicação.

3. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Para validar a fresadora CNC bem como o seu conceito foi usinado com uma ferramenta cilíndrica de ponta esférica de 31 mm de diâmetro um bloco de 1752,6 mm de comprimento conforme mostra a Figura 9.

Somente para a usinagem da longarina central de madeira foi aplicado uma velocidade menor de avanço, 10 m/min. Nas demais regiões do bloco, usinagem do poliuretano expandido, foi possível aplicar a velocidade máxima de avanço do equipamento, isto é: 20,8 m/min. O tempo total de usinagem neste caso, lado superior mais lado inferior do bloco, foi de 11 minutos.

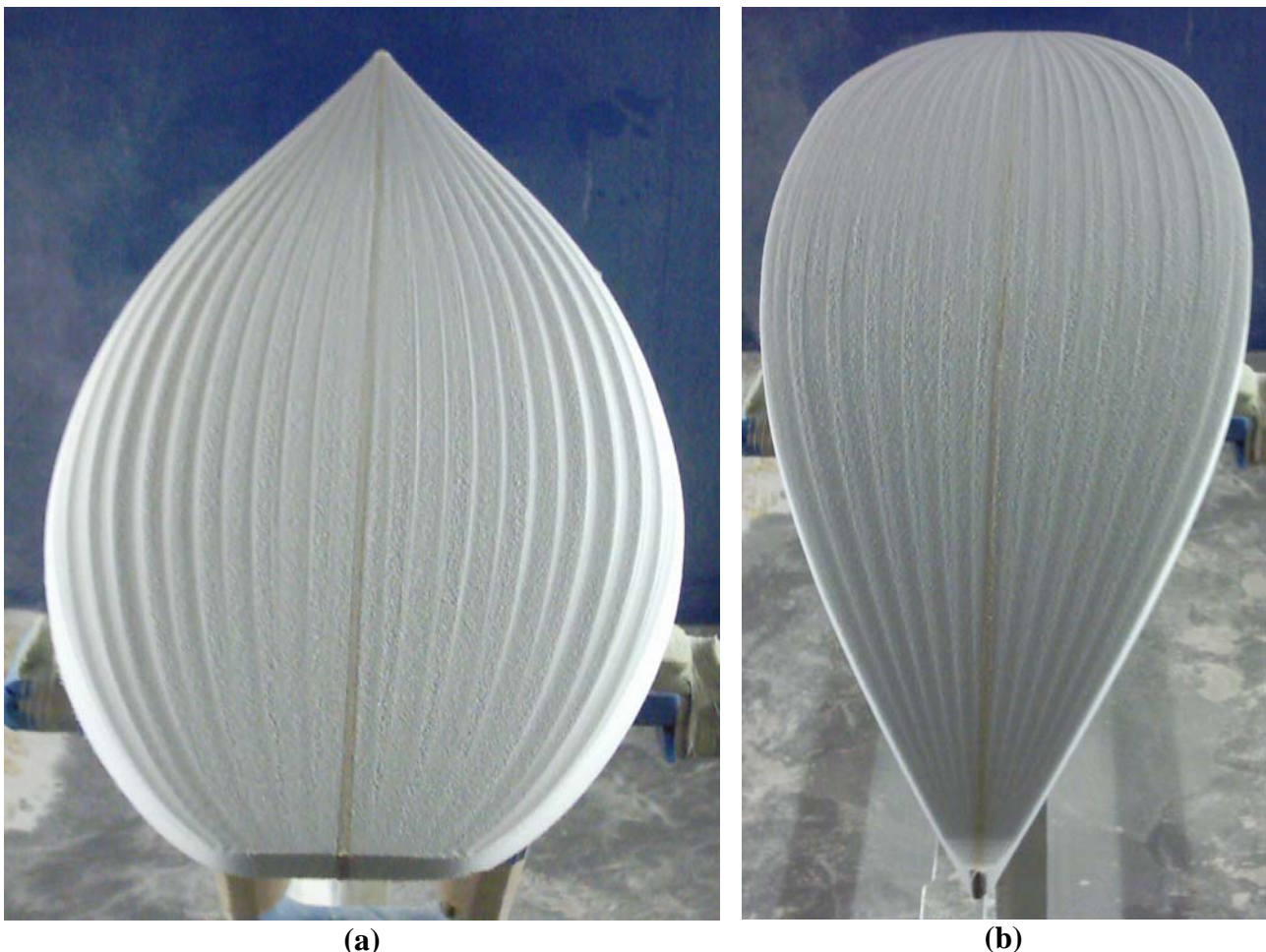


Figura 9. Resultado obtido. Em (a), a foto do lado superior e em (b), a do lado inferior da prancha

Após a usinagem de ambos os lados do bloco, conforme mostra a Figura 9, mediu-se com uma trena metálica, com resolução de 1 mm, o comprimento central do lado superior da prancha, ou seja, o comprimento útil da curva interna da longarina de madeira. A diferença encontrada entre o comprimento programado no software Shape-3D e esta medida foi menor que 1 mm.

A largura da prancha de surf do lado inferior foi medida com uma escala flexível, resolução de 0,5 mm, nas seguintes posições ao longo de seu comprimento: central, nas extremidades e a 304,8 mm das extremidades. Estas cinco medições de largura foram subtraídas dos respectivos valores de largura provenientes do software Shape-3D resultando um erro máximo em módulo menor que 0,5 mm.

Na seqüência, um shaper executou de forma rápida e manual o acabamento superficial final da prancha de surf. Foram removidos, com uma lixa, somente as cristas deixada pelo processo de usinagem. Cabe salientar que esta etapa manual pode ser eliminada através da definição no programa Shape-3D de um valor menor de altura de crista desejada ou de um número maior de linhas de usinagem. Neste caso, o tempo de usinagem e o consumo de energia serão maiores.

A seguir a prancha de surf foi cortada de forma transversal e perpendicular à longarina de madeira nas posições central e a 304,8 mm das extremidades. Nestas três secções transversais foram medidos a espessura da longarina central e as espessuras correspondentes as posições simétricas à longarina central nas distâncias de: 25,4 mm, 50,8 mm e 101,6 mm. Estas 21 medições foram realizadas através de um paquímetro digital, resolução de 0,01 mm e repetitividade de 0,1 mm, e posteriormente subtraídas dos respectivos valores de espessura provenientes do software Shape-3D resultando um erro máximo em módulo menor que 0,4 mm.

Com o objetivo de identificar problemas de simetria longitudinal foram subtraídos os valores de espessura correspondentes as posições simétricas de cada secção transversal. Nas 9 posições simétricas avaliadas o erro máximo em módulo foi menor que 0,3 mm.

4. CONCLUSÕES

A fresadora CNC desenvolvida foi testada em situação normal de usinagem de blocos de poliuretano expandido de diferentes tamanhos e com ferramentas de diferentes diâmetros e mostrou-se rígida, robusta e rápida.

Bons resultados foram obtidos com relação à avaliação da usinagem realizada: processo de usinagem rápido, praticamente foi eliminado o erro de simetria longitudinal e em todas as dimensões da prancha de surf, comprimento, largura e espessura, os erros em módulo entre as dimensões programadas no software Shape-3D e as dimensões reais medidas são pequenos.

Os produtos gerados por este equipamento atendem as exigências do mercado do *surf*, porém uma avaliação mais criteriosa identificando os erros de forma através de uma máquina de medição por coordenadas, as origens e possíveis correções destes erros é muito importante e será desenvolvida em uma próxima etapa.

O sistema mecânico de fixação manual do bloco de poliuretano expandido é fácil de manusear, é ajustável de acordo com o tamanho do bloco e manteve-se rígido durante a usinagem de ambos os lados das pranchas de *surf*. Este sistema mostrou-se muito eficiente e preciso, pois se consegue eliminar as variações dimensionais oriundas do mau posicionamento da prancha após a inversão do lado de corte.

O equipamento apresentado neste artigo é fácil de operar, confiável e atualmente possui o melhor custo-benefício no mercado de *surf*, representando ao micro ou pequeno empresário deste setor de fabricação e também de outros uma opção atraente e vantajosa.

Este equipamento é versátil e com poucas adaptações em seu projeto pode ser empregado em outras aplicações industriais, como por exemplo: gravações, mesa para corte e solda de metais, modelagem CNC, corte e furação de painéis de móveis.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa RODRIGO SILVA SURF ME pela oportunidade de desenvolvimento proporcionada e aos profissionais da empresa METALTEX pela excelente assistência técnica prestada.

6. REFERÊNCIAS

1. 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.
2. 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.
3. CARKEN CO. **DeskCNC setup & operating manual**. Disponível em: <<http://www.deskcnc.com/DeskCNCManual.pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2006.
4. PANASONIC. **AC servo motor driver operating manual**. Disponível em: <http://www.industrial.panasonic.com/i_e/25000/minas_s_e.pdf#search=%22AC%20servo%20motor%20drive%20operating%20manual%22>. Acesso em: 22 de setembro de 2006.
5. DELTA ELETRONICS. **VFD-B user manual**. Disponível em: <http://www.delta.com.tw/product/em/ac_motor/download/manual/VFD-B/5011025712-BE14.pdf>. Acesso em: 22 de setembro de 2006.

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A LOW COST CNC SHAPING MACHINE FOR SURF BOARDS

Abstract. *The surf boards are produced in a manual way, by professionals known as shapers, or automatically on CNC shaping machines. The manual process, besides being slow, presents problems of longitudinal symmetry and of repetitively. In the automated process these problems are minimized, however the cost for the acquisition of a CNC shaping machine is elevated. Among the components of this equipment the unit of movement control possesses the most significant cost. In this context, the present work treats of the development and construction, for a local company, of a CNC shaping machine for surf boards, commanded by a CNC controller of low cost, PC based, the DeskCNC[®]. This work begins with the description of the mechanical structure of the CNC shaping machine and of the fixation system for the block of expanded polyurethane. To follow are presented: the technologies used to move the axes and the electric and electronic diagrams of command, protection, isolation and sign adaptation. In the sequence the potential of the CAD/CAM program is shown, shape 3D[®] of French origin, used in this development to execute the design of the surf board and the generation of the CNC commands in g-language. The generated path of the tool is sent in a serial way for the CNC controller that, in time, commands the rotation of the axis tree and the movements of the axes X, Y and Z. Finally, the practical results of performance of the equipment are presented.*

Keywords: *surf boards, CNC shaping machine, automation of the manufacture.*