

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE
MANUFATURA PARA FABRICAÇÃO DE QUADROS DE BICICLETA**
*/DEVELOPMENT OF A FLEXIBLE MANUFACTURING CELL FOR
MANUFACTURING BICYCLE FRAMES*

Alberto José Álvares - *alvares@enm.unb.br*

Pavlos Rodopoulos - *pavlos@brnet.com.br*

Sandro Martins Dolghi - *sandro@enm.unb.br*

*GRACO - Grupo de Automação e Controle, Departamento de Engenharia Mecânica
Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília CEP 70910 900 Brasília DF, Brasil*

Abstract

This paper shows preliminary development of a Flexible Manufacturing Cell (FMC) for welding bicycle frames. This work presents the main units of the FMC and required procedures for welding the frame joints. The process is improved by using the ABB IRB 2000 six-degree of freedom robot, for welding the tubes. This innovation provides a better productivity and repeatability for the whole process.

Keywords

1-System Optimisation and Process, 2-Automation and Robotic, 3-Welding, 4-Flexible Manufacturing Cell
1-Otimização de Sistemas e Processos, 2-Automação e Robótica, 3-Soldagem, 4-Célula Flexível de Manufatura

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o processo mais utilizado na construção de quadros de bicicleta em estruturas tubulares é a soldagem das juntas realizada de forma manual. Por outro lado, o crescente emprego de processos automatizados na indústria serve de motivação para a realização deste trabalho, aliando os avanços tecnológicos inerentes à automação da manufatura à produção de quadros de bicicleta, proporcionando maior repetibilidade, otimização dos tempos de produção já que no processo convencional a soldagem gasta em média duas horas (Severi, 1995). Portanto, permitir-se-á uma melhoria na produtividade e na precisão, quando comparado ao processo manual.

Este trabalho apresenta a Célula Flexível de Manufatura (FMC) desenvolvida no Laboratório do Grupo de Automação e Controle (Dolghi *et al.*, 1997), voltada para a fabricação de quadros de bicicleta. Esta FMC é composta por gabaritos e dispositivos de fixação, robô industrial, fonte de soldagem MIG/MAG e unidade de comando (figura 1).

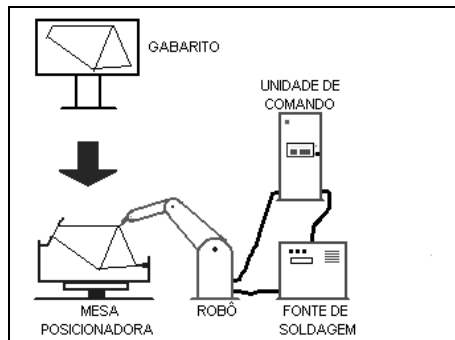


Figura 1: Esquema da FMC proposta.

Dentre estes elementos, foram concebidos e fabricados o gabarito e os dispositivos de fixação dos tubos, atendendo aos requisitos de rigidez mecânica e térmica, para serem garantidas a geometria desejada ao quadro, durante todo o processo, e flexibilidade permitindo a produção de quadros de diversos tamanhos e modelos.

O processo de fabricação concebido é composto de uma fase manual e outra semi-automatizada. A fase manual compreende a preparação dos tubos (corte e usinagem nas dimensões e formas adequadas), montagem dos tubos no gabarito e ponteamto de suas junções.

A fase semi-automatizada envolve a atuação conjunta de uma mesa posicionadora, de uma fonte de soldagem MIG/MAG e de um robô industrial com seis graus de liberdade (ABB, 1993). A mesa posicionadora é concebida visando melhor acesso do robô aos pontos do quadro onde serão realizados os cordões de solda nas junções dos tubos. A programação do robô é por aprendizagem, movendo-o até os pontos considerados e gravando a leitura de sua posição. A próxima etapa é a realização do cordão de solda através da trajetória programada.

Diante da impossibilidade de realização de todos os cordões de solda necessários em um único posicionamento do quadro, realiza-se este procedimento em diversas posições do quadro mais acessíveis à tocha de soldagem acoplada ao robô, mediante a movimentação manual da mesa posicionadora. Cada posição da mesa posicionadora é gravada e passível de repetição de forma a obter a repetibilidade do processo.

A verificação da qualidade do processo de fabricação concebido é feita comparando-se um quadro fabricado manualmente, no gabarito de ponteamto, com o quadro fabricado pelo processo semi-automatizado. Esta etapa do trabalho teve como objetivos o desenvolvimento do planejamento de processo e a concepção dos dispositivos e gabaritos, a otimização dos processos de fabricação propostos e dos parâmetros de soldagem serão objetivos de trabalhos posteriores.

2. TECNOLOGIA DO PROCESSO E FABRICAÇÃO CONVENCIONAL DE QUADROS DE BICICLETA

A utilização de estruturas tubulares, em lugar de madeira reforçada com metais das primeiras bicicletas, teve início por volta de 1870 (Whitt *et al.*, 1982). Os princípios básicos de construção empregados não sofreram grandes mudanças, apesar dos avanços tecnológicos que possibilitaram melhorias como por exemplo: a redução do peso, em aproximadamente, um terço do peso das primeiras bicicletas.

O principal material utilizado nos quadros de bicicleta são os aços e suas ligas: aços com baixo teor de carbono para quadros mais baratos, aços com médio teor de carbono para modelos intermediários e as ligas de cromo-molibdênio-manganês-carbono e mais recentemente níquel-cromo-vanádio-carbono nas melhores bicicletas de competição (Whitt *et al.*, 1982). Os quadros mais baratos são feitos por tubos obtidos de chapas de aço laminadas e costuradas, e depois soldados aos outros componentes do quadro. Os melhores quadros são feitos com tubos sem costura, estirados de forma a serem de paredes menos espessas no meio que nas extremidades e depois unidos por conexões aos outros membros (Whitt *et al.*, 1982).

As extremidades de um tubo do quadro de bicicleta, onde os momentos devido à flexão são normalmente maiores, são também os pontos onde os tubos, membros do quadro, são

unidos entre si. Os métodos de união entre os membros do quadro devem ser suficientes para suportar os carregamentos envolvidos e não degradar as propriedades do material.

A estrutura de um quadro de bicicleta tem se mantido praticamente inalterada, o *design* básico, não sofreu grandes modificações (Andrawes, 1996). A configuração básica de um quadro de bicicleta é a forma de paralelogramo, com dois triângulos similares formados por uma diagonal comum, o triângulo principal, ou anterior, e o triângulo posterior. Estes dois triângulos similares fornecem suporte estrutural, de forma que a bicicleta não se desintegre, e rigidez suficiente, de forma que o quadro não irá fletir ou se mover de um lado para o outro enquanto se pedala. Caso a bicicleta sofra flexão, enquanto se pedala, ocorrerá perda de potência.

Os tubos que compõem um quadro de bicicletas podem ser denominados de acordo com a nomenclatura apresentado na figura 2 (Boninsegna *et al.*, 1990).

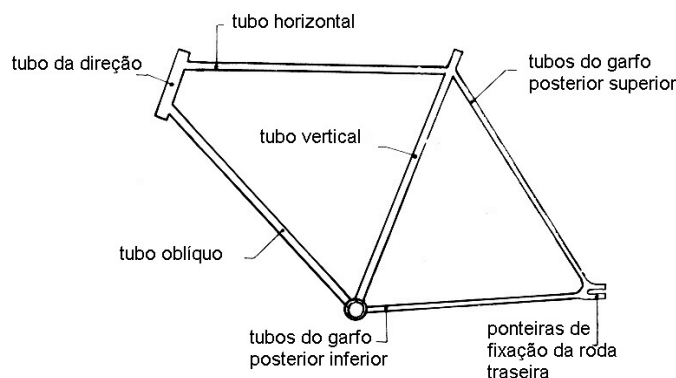


Figura 2: Nomenclatura dos tubos de um quadro de bicicleta.

3. TÉCNICAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE QUADROS DE BICICLETA

As técnicas usuais utilizadas nas uniões de tubos são: soldagem, brasagem e colagem. Essas técnicas podem ser subdivididas em soldagem TIG, soldagem TIG por pulsos, soldagem plasma, soldagem MIG, brasagem com conexões, brasagem com filetes e colagem (McIlvain, 1994). Cada técnica ou método é empregado de acordo com o material dos tubos e com a utilização desejada para a bicicleta. Dentre estes, os mais utilizados são a soldagem TIG, MIG e brasagem com conexões.

O método TIG de soldagem é empregado quando o construtor de quadros deseja a máxima resistência. A solda TIG não deixa resíduos ao acabamento do processo. O método de soldagem MIG é similar ao TIG. Entretanto, ao invés do material de adição ser alimentado manualmente, a solda MIG injeta o arame de adição diretamente através da tocha em lugar de um eletrodo. Este método não é adequado para a realização de soldagem em tubos de espessura fina utilizados em quadros de alta qualidade. A grande vantagem deste método é a alimentação mecânica do material de adição que permite uma maior velocidade no processo. É utilizado na construção de quadros de baixo custo, onde o acabamento não é fator preponderante.

No método brasagem com conexões os tubos são encaixados entre si por meio de conexões, sendo realizada em seguida a brasagem para a união do quadro, com materiais de adição que possuem menores pontos de fusão, geralmente latão ou prata. Para aquecimento do material de adição à temperatura de fusão é utilizada uma tocha do tipo oxi-acetilênica. O metal fundido flui ao redor e dentro da junta pela ação da capilaridade, tornando a brasagem o método preferido para a união de tubos com conexões.

4. PROCESSO DE FABRICAÇÃO CONVENCIONAL

O processo de fabricação convencional (Severi, 1995), adotado pelos fabricantes de renome internacional, é realizado manualmente por operadores de soldagem qualificados, constituindo um processo quase artesanal. A seguir é apresentada a descrição do processo de fabricação convencional segundo Severi (1995).

Inicialmente, os tubos constituintes do quadro devem ser previamente preparados. A preparação dos mesmos envolve seu corte em tamanho adequado e fresagem de suas extremidades para confecção dos encaixes, segundo o posicionamento de cada tubo na estrutura do quadro e de acordo com os ângulos desejados. Terminada a fresagem, os tubos passam por uma fase de lixamento para a retirada de rebarbas, garantindo um melhor assentamento entre as juntas dos tubos. Deve-se furar a superfície dos tubos, com uma broca de cerca de 1 mm de diâmetro, para permitir a saída dos gases provenientes do processo de soldagem. Deve ser também realizada uma limpeza na superfície dos tubos, nas conexões e ponteiros, a fim de se eliminar impurezas que possam contaminar a solda.

A soldagem é realizada utilizando-se um gabarito na forma de um painel. Este painel deve ser feito de uma chapa espessa, de forma a não sofrer variações de suas dimensões em decorrência do calor que recebe durante a soldagem do quadro. Antes as peças devem ser lixadas a fim de que entre o tubo e a conexão exista uma folga de 1/10 de milímetro, permitindo o perfeito encaixe entre elas.

O processo de soldagem inicia-se pelos tubos da estrutura do quadro. Terminada esta etapa, prossegue-se soldando as peças de acabamento, como travessas e passa-cabos.

Todo este procedimento geralmente requer cerca de duas horas de trabalho, a qual segue-se o resfriamento. Este é feito com o quadro ainda fixado ao gabarito por cerca de meia hora. Após o resfriamento, faz-se o alinhamento, com o auxílio de um calibre, das ponteiros anteriores e posteriores.

5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO PROPOSTO

O processo de fabricação proposto utilizando-se de uma célula de manufatura automatizada, apresenta como grande diferencial, a realização da solda do quadro com a utilização de um robô industrial de seis graus de liberdade. A fabricação é dividida em duas etapas: **preparação** e **produção**. A etapa de **preparação** envolve as operações de *ajuste dos tubos* e a *montagem* destes no gabarito para *ponteamento*, como é tradicionalmente realizado.

A etapa de *ajuste dos tubos* envolve o corte nas medidas adequadas, usinagem para a confecção das junções, realização de furos na superfície do quadro, lixamento para eliminação de rebarbas e a limpeza para eliminação de impurezas que possam contaminar a solda.

A fase de *ponteamento* envolve a montagem dos tubos em um gabarito, onde serão executados os ponteamientos das junções. O gabarito é previamente projetado e construído, tendo como função exercer o travamento dos tubos de forma que seja garantida a integridade geométrica do quadro, durante e após ser ponteadado. A ordem de montagem dos tubos no gabarito e de ponteamento das junções obedecerá a ordem seguida no processo de produção convencional.

Inicia-se, a seguir, a etapa de **produção** onde o quadro ponteadado será então colocado na mesa posicionadora, fixado pelas extremidades. A mesa, acionada manualmente, posicionará o quadro em uma primeira posição denominada *posição inicial*, o processo de soldagem é iniciado com a movimentação do robô, de forma que a tocha de soldagem alcance o ponto do quadro onde será iniciado o cordão de solda. A movimentação subsequente do conjunto

robô/tocha de soldagem, acompanha os pontos programados no quadro, realizando-se o cordão.

O quadro permanecerá nesta posição até que todos os cordões de solda exequíveis possam ser realizados. A seguir a mesa é reposicionada, manualmente, em uma nova posição para a realização de novos cordões que não puderam ser realizados no posicionamento anterior. O processo prossegue desta forma até que todos os cordões de todas as juntas sejam realizados. Cada posição da mesa deve atender ao maior número possível de regiões do quadro a serem alcançadas pela tocha, a fim de minimizar o tempo gasto na operação.

6. CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA PARA SOLDAGEM DE QUADROS DE BICICLETA

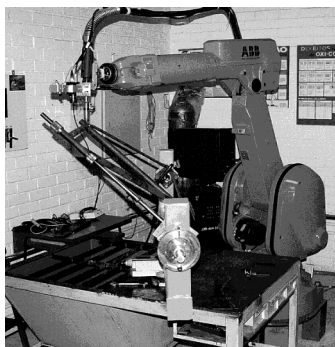


Figura 3: FMC para soldagem de quadros de bicicleta.

A célula de manufatura proposta neste trabalho (figura 3) é constituída das seguintes unidades: *gabarito* de ponteamento dos tubos, *mesa posicionadora*, *fonte de soldagem*, *robô industrial* e *controlador do robô*. As unidades *gabarito* e *mesa posicionadora* foram projetados para atender aos requisitos de operacionalidade da célula de manufatura. A *fonte de soldagem* utilizada é a Fonte Migatronic BDH Triple (MIGATRONIC, 1993). Esta atua conjuntamente com o *robô* IRB 2000 da Asea Brown Boveri (ABB, 1993). A seleção deste modelo de robô e fonte de soldagem MIG/MAG supracitadas deve-se limitações de equipamentos no laboratório do GRACO, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, pois estes são os únicos equipamentos disponíveis no momento em condições de utilização.

6.1. Projeto e Construção do Gabarito

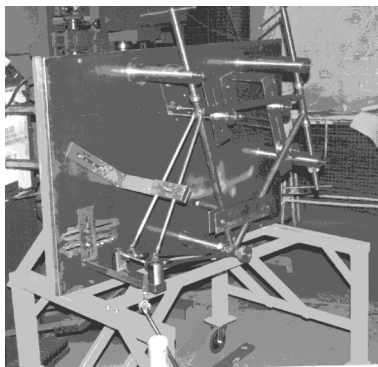


Figura 4: Gabarito para ponteamento dos tubos de um quadro de bicicleta.

Os elementos da FMC envolvidos na fase de **preparação** são o *gabarito* e *dispositivos de fixação do quadro*. Estes elementos têm importância fundamental em todo o processo, uma vez que a qualidade de um quadro é função de sua geometria e do alinhamento entre os tubos durante a realização da soldagem. Para que este alinhamento seja alcançado o *gabarito* e os dispositivos de fixação devem atender aos requisitos de rigidez impostas por esta condição.

O *gabarito* e os *dispositivos de fixação* foram projetados para atender aos requisitos de flexibilidade para produção de quadros de diversas naturezas e dimensões, inspirado nos gabaritos já disponíveis no mercado (Marchetti, 1995). Também oferecem facilidade para montagem dos tubos, em suas respectivas posições,

e facilidade para a operação de ponteamento feita manualmente por um operador. Os *dispositivos* são fabricados para atender ao requisito principal de rigidez, tanto mecânica quanto térmica, sendo a resistência um fator de menor importância. O *gabarito* projetado é

composto por uma chapa de aço de $\frac{3}{4}$ de polegada de espessura, dispositivos de fixação do quadro e suportes dos tubos. Nessa placa são fixados os dispositivos de fixação dos tubos.

Para garantir mobilidade para a realização do ponteamento os centros dos tubos estarão a 250 mm de distância da chapa, espaço suficiente para abrigar a tocha de soldagem MIG. O gabarito projetado é semelhante a alguns gabaritos já existentes no mercado e utilizados por fabricantes de quadros. A figura 4 apresenta o gabarito construído.

6.2. Projeto e Construção da Mesa Posicionadora

A *mesa posicionadora* de acionamento manual foi projetada de modo a permitir o acesso do robô a todos os pontos do quadro, sendo necessário o correto posicionamento (altura e ângulo de inclinação) de cada ponto. A mesa projetada possui dois graus de liberdade, podendo girar livremente em torno de seu eixo transversal e girar até 180° em torno do seu eixo longitudinal. O formato adotado para a mesa é uma espécie de moldura, sem a parte superior, que envolve o quadro (figura 5). O quadro é preso à mesa por dispositivos de fixação no tubo de direção e na ponteira traseira.

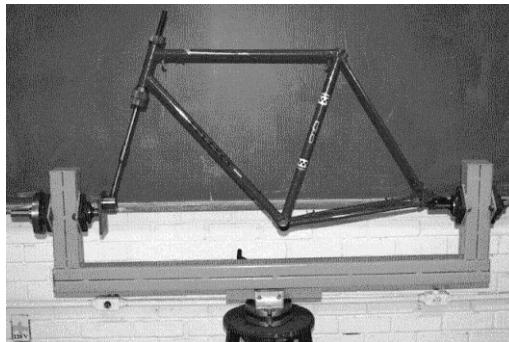


Figura 5: Mesa Posicionadora construída.

6.3. Montagem da FMC

O esquema de funcionamento da FMC proposta compõe-se de processos manuais e semi-automatizados. O processo de produção tem início com as seguintes fases manuais: preparação e montagem dos tubos, ponteamento no gabarito, colocação do quadro na mesa posicionadora. O processo prossegue com as etapas semi-automatizadas: movimentação manual da mesa posicionadora e realização da solda pelo robô.

A operação de soldagem sugerida por Severi (1995) deve ser iniciada pela soldagem dos tubos do garfo posterior inferior às ponteiras de fixação da roda traseira (1), seguindo-se da soldagem do tubo vertical à caixa de movimento central (2). O processo prossegue soldando-se os tubos do garfo posterior superior ao tubo vertical (3). Após este processo, solda-se os tubos do garfo posterior superior às ponteiras de fixação da roda traseira (4), que possuem maior espessura.

A próxima etapa do processo é a soldagem do tubo horizontal ao tubo vertical (5), na altura desejada, e em seguida a soldagem do tubo oblíquo à caixa de movimento central (6). Continua-se, soldando os tubos do garfo posterior inferior à caixa de movimento central (7) e termina-se soldando-se o tubo oblíquo (8) e o horizontal (9) ao tubo da caixa de direção. A seqüência de soldagem é melhor ilustrada na figura 6.

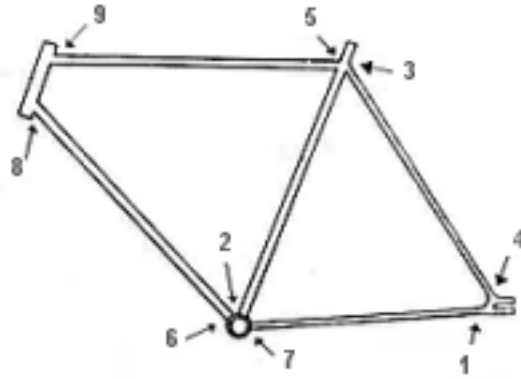


Figura 6: Seqüência de soldagem dos tubos.

7. RESULTADOS

A fase experimental consistiu na concepção de três protótipos de quadros de bicicleta, sendo um totalmente soldado e previamente ponteadado manualmente no gabarito e os demais somente ponteados. Os protótipos foram construídos tendo como padrão um quadro de bicicleta de estrada de formato convencional. Com o primeiro protótipo, verificou-se a qualidade do gabarito concebido quanto à rigidez proposta em projeto e facilidade de montagem e desmontagem. Sua flexibilidade é comprovada pela escolha de um modelo aleatório de quadro de bicicleta que fora perfeitamente adaptado ao mesmo.

A necessidade da repetibilidade no processo é comprovada em experimentos na mesa posicionadora alocada na FMC. Foram feitos estudos com o quadro de bicicleta fixado à mesa posicionadora, onde o conjunto fora movimentado para a escolha de posições que possibilitem a realização de um maior número de cordões de solda. Em cada posição, o programa de soldagem do robô executa uma subrotina de movimentação, posicionando a tocha de soldagem na posição adequada para a realização do cordão de solda. Quando o conjunto é alterado para a nova posição, a subrotina seguinte é posta em execução. Após os ensaios serem realizados, o quadro é substituído. Os ensaios são repetidos com as mesmas posições e com o mesmo programa do robô. Este procedimento foi realizado com sucesso para os três protótipos.



Figura 7: Ponto atingido pela tocha de soldagem.

Devido à metodologia adotada para experimentos, os resultados obtidos resumem-se a comparações entre a distância do eletrodo ao ponto previamente marcado no quadro. É importante ressaltar que esta distância deveria ser suficiente para a abertura do arco elétrico e garantir a proteção gasosa. Caso a distância entre o ponto e o eletrodo não cumprisse estes requisitos, a simulação seria considerada inválida, sendo necessária uma nova programação do robô ou mesmo uma verificação de todo o planejamento de processo, para que possíveis erros sejam detectados e posteriormente eliminados. A figura 7 ilustra um ponto atingido pela tocha de soldagem em uma junção do quadro.

8. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os resultados preliminares referente a primeira fase do desenvolvimento de uma Célula Flexível de Manufatura para fabricação de quadros de bicicleta. Esta fase teve como objeto o desenvolvimento dos dispositivos de fixação (gabarito e mesa posicionadora), montagem da FMC e a sua validação através de simulações executadas na própria célula. Os requisitos de projeto definidos, tais como: qualidade geométrica, flexibilidade e repetibilidade foram comprovados.

Para a segunda fase de desenvolvimento da FMC está prevista a otimização do processo de soldagem MIG/MAG a ser utilizado, bem como, a automação da mesa posicionadora.

A documentação do trabalho (Dolghi *et al.*, 1997) referente ao desenvolvimento está disponível através da Internet em ftp://graco.unb.br/pub/projeto_final/fmc_bicicleta/bicycle.zip.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB *Description IRB 2000*, Asea Brown Boveri Robotics Products, Suécia, 1993.

ANDRAWES, S. *Geometry in Bicycles*, <http://www.unc.edu/~mikedogg>, 1996.

BONISEGNA, F. *La Bicicletta*, Compagnia Editoriale, Roma, 1995.

DOLGHI, S. M. & RODOPOULOS, P. *Desenvolvimento de uma célula de manufatura automatizada para fabricação de quadros de bicicleta*, Relatório de Estágio Supervisionado, Universidade de Brasília, 1997.

MARCHETTI & LANGÉ *Catálogo de Produtos, gabarito ML 301/N*, Bergamo, Itália, 1995.

McILVAIN, J. *How to Be a Frame Tube Expert*, Revista Road Bike Action, Vol. 2, nº 2, pp. 68-73, Califórnia, fevereiro, 1994.

MIGATRONIC.BDH Triple (BDH 320) *Instructions For Use - Version .01*, MIGATRONIC /S, Dinamarca, 1993.

SEVERI, L. *Construire una Bicicletta*, Compagnia Editoriale, Roma, 1995.

WHITT, F. R. & WILSON, D. G. *Bicycling Science*, The MIT Press, Massachussets, 1982.