

PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DE ÓLEO DE CORTE EM UM CENTRO DE USINAGEM

Ademir Bonfim
Pablo Deivid Valle
Fernando Deschamps
Alessandro Marques

Universidade Federal do Paraná – UFPR
Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC
Pós-graduação Engenharia Industrial 4.0, Rua, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 230
Centro Politécnico, Bloco IV, Curitiba-PR, 81530-000
ademirbonfim42985@gmail.com

Resumo. O Artigo tem o objetivo de *otimizar a concentração de óleo de corte para Centros de Usinagens. Foi desenvolvido um protótipo que monitora a concentração do óleo de corte através de sensor de condutividade imerso na mistura simulando as condições de um reservatório de emulsão de centros de usinagem. A condutividade elétrica do fluido é proporcional a concentração, e o sinal obtido por um sensor condutivímetro varia de acordo com a concentração de óleo proporcionalmente.*

Uma vez coletada a concentração, uma placa Arduino recebe o sinal do nível do reservatório da mistura através do sensor ultrassônico, que calcula através de equações, a quantidade ideal de injeção de água e óleo. Bombas foram utilizadas para atuarem através de relês, até atingir níveis e concentração ideal da mistura. Incluído também, sensores de níveis nos reservatórios para indicar necessidade/falta de óleo para alimentação e um display LCD para interface homem/máquina, informando a concentração e níveis da mistura em tempo real. Os resultados mostraram que o protótipo atende a especificação da concentração de óleo e o protótipo será a base para implementação futura em um Centro de Usinagem.

Palavras-chave: Centro de usinagem. Consumo de óleo de corte. Otimização. Redução de custos.

1. INTRODUÇÃO

Uma boa usinabilidade dos materiais metálicos está diretamente ligada ao aumento da vida útil das ferramentas, baixa pressão de corte e temperatura, consequentemente, alta produtividade. Os fluídos de corte atuam diretamente nessas grandezas através da lubrificação e refrigeração, oferecendo melhora significativa no aumento da usinabilidade dos metais, reduzindo a energia de atrito entre ferramenta-peça, permitindo aumentar uma economia considerável no processo de usinagem (DINIZ et al., 2014) e, portanto, sua concentração ideal é um fator muito importante.

O fluído de corte utilizado é uma mistura de água com óleo sintético com porcentagem definida pelo fornecedor (3,5%) como ideal e econômica. Porém, como o processo da mistura é feito de forma manual, esse percentual geralmente não é atingido e em consequência existem desperdícios consideráveis no consumo desse óleo. Além disso, em outras situações, quando se atinge misturas pobres o resultado é o alto consumo de ferramentas, perdas da qualidade e oxidação das peças no pós-usinagem (DINIZ et al., 2014). Diante dessas circunstâncias, procura-se desenvolver um sistema de gerenciamento automático da mistura, para garantir o percentual ideal e eliminar a atividade manual do operador que será detalhado no desenvolvimento desse projeto. No processo de usinagem é necessário utilizar ferramentas de corte que possuam dureza e tenacidade adequadas, para resistir aos desgastes e avarias inerentes ao processo. Dessa forma, o conhecimento sobre as características do material e a escolha adequada da ferramenta de corte influencia diretamente na qualidade final do produto (ASTAKHOV, 2006).

A necessidade de implantar um sistema automático de alimentação de óleo solúvel é uma oportunidade de melhoria em Centros de Usinagem, que possibilita reduzir os custos com mão de obra e um melhor controle da mistura. Desta forma, reduzindo desperdícios pelo excesso na concentração ou melhorando a vida útil das ferramentas de corte. Evitando, assim, a baixa concentração que reduz a eficiência na troca de calor com a ferramenta de corte, diminuindo a sua vida útil e perdendo as propriedades relacionadas à proteção contra a corrosão.

Além disso, a parte interna da máquina (por exemplo, dispositivos de fixação da peça e a própria base da mesa), são áreas metálicas que ficam expostas, e normalmente, não são confeccionadas de material resistente à corrosão, devido seu alto custo (TRENT e WRIGHT, 2000).

Atualmente, na indústria, o abastecimento de óleo de corte, composto por água e óleo, necessário para refrigerar o processo de usinagem no Centro de Usinagem, é realizado diariamente de forma manual, pelo operador que utiliza seu tempo produtivo para realizar essa atividade. Diariamente, em centros de usinagem, o operador verifica o nível do

reservatório e sua concentração através da utilização de um equipamento chamado refratômetro que identifica a porcentagem de óleo solúvel na mistura. Na indústria analisada, o operador desloca um tambor de 200 litros de óleo, que fica a uma distância média de 100 metros da máquina, tal distância foi definida por ser um ponto médio entre as máquinas do setor. Após o deslocamento do tambor, realiza o abastecimento do óleo com bombeamento manual, complementado com água, de acordo com a necessidade definida após a medição da concentração. Na maioria das vezes, não é obtido um resultado satisfatório na concentração final indicada pelo fornecedor do óleo, gerando desperdícios ao setor com consumo excessivo de 36% além do necessário e em média 46 horas mensais de mão de obra manual para este controle.

2 METODOLOGIA

A automação de processos industriais é importante para otimizar o trabalho corporativo na atual modernidade, possibilita agregar maior valor ao produto, por promover a redução de custos e aumento da produtividade. Nesse caso, o ganho de produtividade advém da mistura mais próxima do indicado pelo fornecedor, que resulta em menor formação de borra, menor necessidade de intervenção para correção da mistura e do desperdício no consumo do óleo. Nesse sentido, esse trabalho procurou desenvolver um protótipo para validar a ideia de um projeto, através da simulação das condições reais em um Centro de Usinagem, localizado na Cidade Industrial da Região Metropolitana de Curitiba. O objetivo principal é garantir a dosagem ideal de óleo/água no reservatório de um centro de usinagem através de um protótipo.

No protótipo foi realizado um estudo para dimensionar os componentes que integram o sistema, desde a definição de sensores para indicar a concentração do óleo e o nível da mistura, até o desenvolvimento do programa de gerenciamento, utilizando a Plataforma Arduino.

Nesse projeto procurou-se realizar as seguintes atividades:

- (a) Teste e dimensionamento do sistema de medição para tratar os sinais recebidos pelo transdutor, utilizado como sensores de concentração do óleo na água, tendo em vista, que no mercado não existe sensores definidos para esse fim;
- (b) Elaboração de um programa na Plataforma Arduino e um sistema supervisor para monitorar sensores de níveis e concentração no reservatório de fluido de corte em um Centro de Usinagem e atuar nas bombas para dosar as quantidades necessárias de água e óleo para obter uma mistura ideal;
- (c) Dimensionamento de tubos para transporte de água e óleo até o reservatório, selecionando materiais que resistam aos componentes agressivos do óleo;
- (d) Determinar um sistema para mistura do óleo solúvel com água;
- (e) Definir o reservatório de óleo e água que simula as condições de um Centro de Usinagem.

Atualmente na empresa pesquisada se consome 12 tambores de 200 litros de óleo sintético em média por mês para alimentar 23 Centros de Usinagem, onde a concentração econômica e eficaz indicada pelo fornecedor é de 3,5 °brix (escala numérica de índice de refração). Porém este controle é feito de forma manual e se consegue concentrações médias de 5,5 °brix, tornando o consumo elevado com perdas até 36%. Além da mão de obra para monitorar manualmente este processo de mistura e coleta de dados.

A Figura 1 ilustra a rotina diária do operador em verificar a concentração do óleo e em seguida fazer manualmente a adição de óleo quando a mistura está abaixo da concentração e caso esteja com níveis acima, adiciona água.

Portando este projeto também propõe a redução de custo com mão de obra direta, que por sua vez demanda em média 30 minutos em cada reservatório.



Figura 1: Bombeamento de óleo e água diretamente no reservatório

Fonte: O autor (2021).

2.1. Projeto Conceitual

Nesta etapa o projeto foi modelado funcionalmente, descrito de forma abstrata e inicialmente definiu-se a função global combinando os vários princípios para dar origem as concepções futuras. Na modelagem funcional, o objetivo é mostrar o resultado, que é obter uma mistura de óleo e água com concentração bem definida á níveis controlados

disponíveis para utilizar em um Centro de Usinagem. Para que isto ocorra, faz-se necessário ter entradas com informações da concentração e nível, assim compilar dentro da função global para obter as saídas desejadas.

Foram analisadas as especificações do produto, tais como, a vazão do fluido para o tanque de mistura (m^3/min); o bombeamento da mistura para máquina (m^3/min); a leitura correta da concentração de fluido ($^{\circ}\text{brix}$); e um aviso de nível mínimo de fluido no tanque (m^3).

E os principais requisitos para os clientes, são: o controle de maneira automática; a redução do desperdício de fluido de corte; a redução dos erros operacionais; a redução da necessidade de operador especializado.

Na modelagem funcional detalhada (Figura 2) o objetivo é mostrar um fluxograma detalhado do produto para auxiliar na lógica da programação no que se refere as tomadas de decisões ao receber os sinais dos sensores, para obtenção de uma mistura de óleo e água, com concentração definidas e nível controlado para satisfazer o objetivo do projeto.

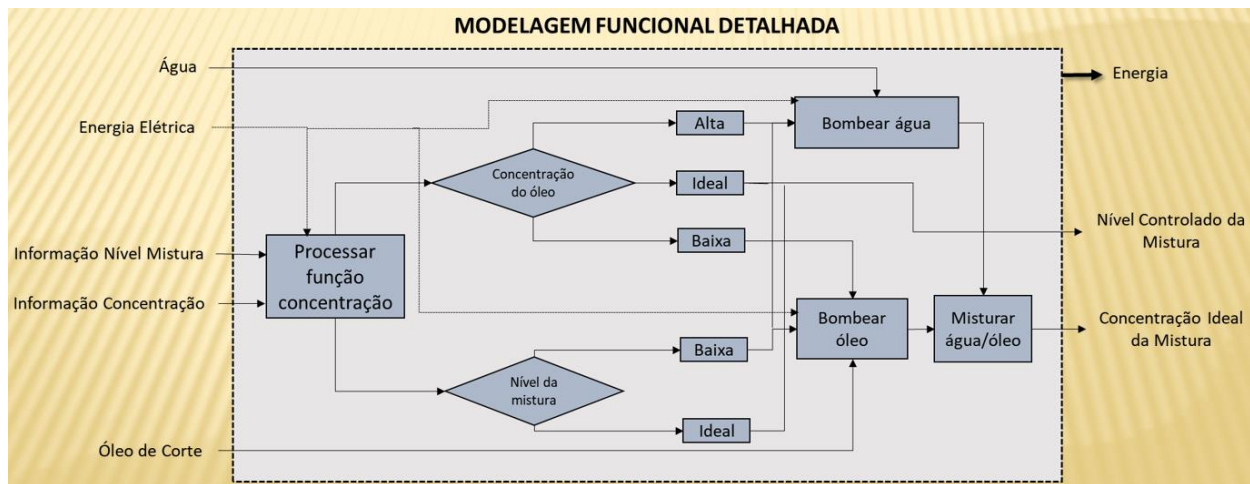


Figura 2: Modelagem funcional detalhada
Fonte: O autor (2021).

2.2. Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCS)

De acordo com Rosenfeld et al. (2006), na definição de arquitetura o produto deve ser visto como sendo um composto de diferentes partes, as quais estão relacionadas com os princípios de solução individuais adotados nos princípios de solução total (alternativas de solução) e com as funções a eles atribuídas. Dessa forma, as alternativas de solução são desdobradas em Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC), que deverão atender às funções do produto.

A proposta foi desenvolver um equipamento capaz de misturar o óleo de corte automaticamente, os Subsistemas e Componentes (SSCs) detalhados levaram a considerar: formas, grandezas dimensionais adequadas e necessidade à que se destina o protótipo. No caso desse projeto utilizou-se o óleo sintético, marca Tirreno.

Foram utilizadas ainda as seguintes ferramentas para desenvolvimento do projeto: Quality Function Deployment (QFD), Projeto Conceitual, Detalhamento do Escopo do Projeto, Modelagem Funcional Detalhada, Matriz Morfológica e Análise de Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC's).

O protótipo desenvolvido consta de três reservatórios:

- um destinado a armazenar o óleo de corte puro,
- o segundo destina-se à mistura que será utilizada, simula o reservatório de Centros de Usinagem e
- um para armazenar água para alimentar o reservatório.

O equipamento é composto por: duas bombas centrífugas, um microcontrolador Arduino, e um sensor de condutividade para a leitura analógica da concentração do óleo. três relês para atuar, bomba de óleo e bomba misturadora; e *display* LCD 16x2 para indicar a concentração de óleo e o nível do reservatório da mistura.

O funcionamento baseou-se em manter os reservatórios de água, de óleo e da mistura com quantidade adequada, os sensores de nível enviam sinais para o Arduino que controlará a quantidade correta de fluido nos reservatórios.

Um leitor de concentração colocado no tanque de mistura envia sinais para um controlador lógico programável (Arduino) instalado na lateral da estrutura que controla o relê atuador da bomba que libera a água enviada, e caso necessário, acionará a bomba que alimentará o tanque com óleo. Um esquema detalhado do conjunto pode ser visto na Figura 3.

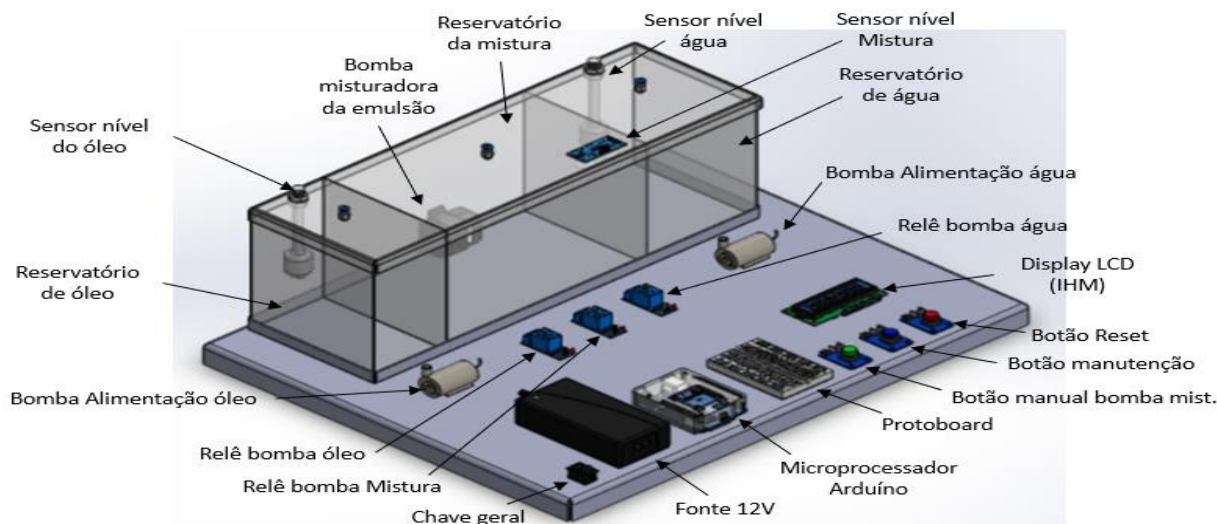


Figura 3: Componentes dos Subistemas e Componentes (SSCs)
Fonte: Autor (2021).

A análise do esquema SSC (Figura 4) tem como objetivo mostrar na modelagem funcional a interação dos componentes com o sistema facilitando o entendimento e suas dependências em cada etapa do processo. Observa-se que os sensores emitem os sinais ao microcontrolador (Arduíno) que processa as informações e por fim atua as bombas para equilibrar o sistema alcançando seu objetivo em cada ciclo.

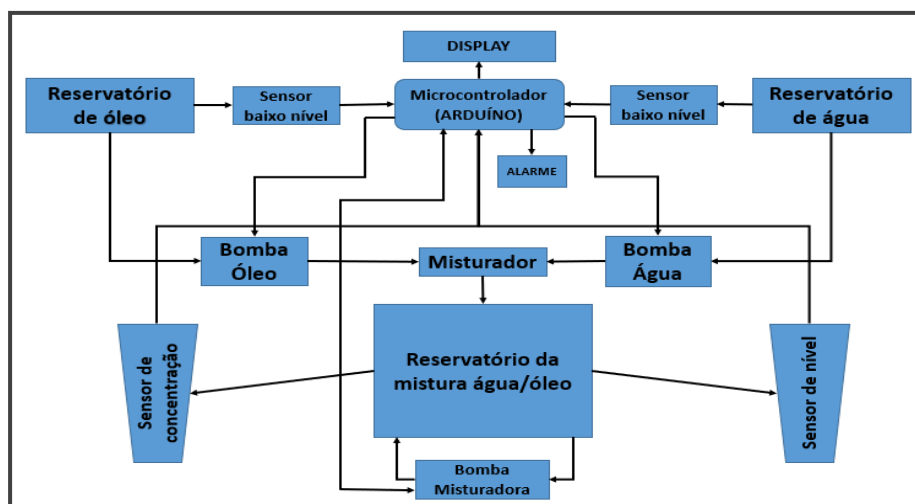


Figura 4: Análise SSC's (modelagem funcional)
Fonte: O autor (2021).

2.3. Projeto Detalhado

Os Subistemas e Componentes (SSCs) foram detalhadas considerando as formas, grandezas dimensionais adequadas de acordo com a necessidade a que se destina o produto, o qual, por sua vez, consta de dois reservatórios, um destinado a armazenar o óleo de corte puro e um para a mistura que será utilizada pelos Centros de Usinagem (Figura 5). O equipamento em seu todo (Figura 6) é composto por três bombas centrífugas, sendo uma (7) para adição de água, outra (13) para o óleo e o terceiro (4) para homogeneizar a mistura. O sensor condutivímetro (2) emite o sinal da condutividade da mistura que por sua vez é convertido em concentração no (11) Arduíno. De acordo com a necessidade são atuados os relês (9) da água e/ou óleo para alcançar a mistura ideal programada. Em paralelo o sensor ultrassônico (3) mensura o volume da mistura no reservatório para garantir a dosagem necessária. Um display (8) LCD de 16 x 2 foi utilizado para fazer a interface IHM (Interface homem / máquina) mostrando em tempo real, tanto o volume da mistura, quanto sua concentração.

Para que a mistura de óleo/ água garanta sua homogeneidade, uma bomba (4) foi instalada dentro da mistura em funcionamento contínuo e alimentado em 12v através de uma fonte (13) externa, que também alimenta o próprio Arduíno.

Sensores tipo bóia (5 e 15) instalados imersos nos reservatórios da água e do óleo foram utilizados para sinalizar a falta de fluido e impedir que o sistema funcione na falta deles.

Em resumo o funcionamento está baseado em manter sempre os reservatórios (1) de água, óleo e mistura com uma quantidade adequada. Para isso, simultaneamente, sensores de nível e concentração enviarão sinais para o Arduino que será compilado resultando na atuação da quantidade correta dos fluidos nos reservatórios garantido assim o resultado planejado.



Figura 5: Reservatório em acrílico transparente de 4 mm com base de 10 mm. Fonte: O autor (2021).

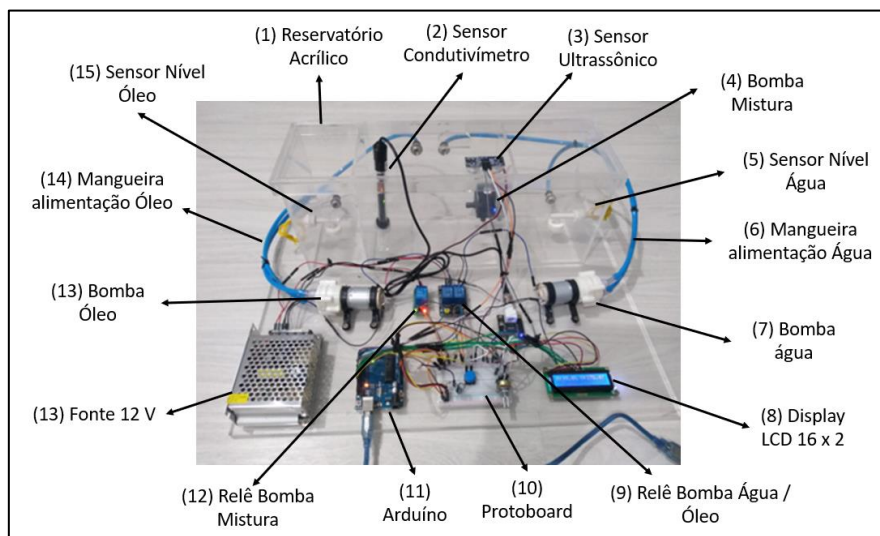


Figura 6: Detalhamento dos componentes do projeto. Fonte: O autor (2021).

O Condutivímetro (Figura 7) é um sensor que possui uma sonda portátil que permite medir a condutividade de um meio físico, onde o medidor aplica tensão entre dois eletrodos. Na medida que a solução possui sua resistência elétrica, causa queda de tensão que pode ser lido pelo condutivímetro. Como a condutividade é relacionada com a resistência elétrica, a leitura é feita primeiramente em condutividade, visto que: $C=K/R$; C: Condutividade (v/cm); R: Resistência elétrica (Ω); K: Constante da célula.

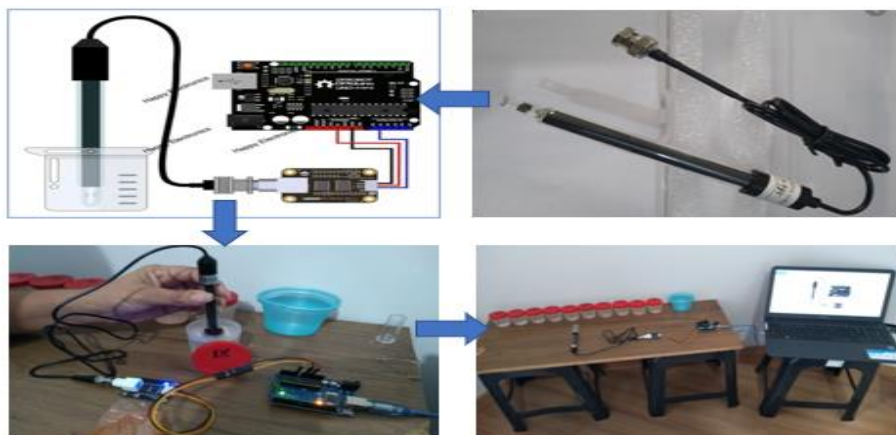


Figura 7: Coleta de dados para obtenção da curva de respostas através saída da condutividade de cada amostra de misturas de concentração de óleo utilizando um sensor condutivímetro (esquerda superior) ligado a placa arduino (esquerda inferior). Fonte: O autor (2021).

A necessidade de encontrar um sensor que obtivesse resposta proporcional a variação da concentração de óleo de corte e que também permitisse ligar a entrada de um microprocessador, que no caso utilizado foi uma placa Arduino que permitiu esta escolha. Através dessa interação, pode-se obter uma equação (Figura 8) que permitiu monitorar a concentração de óleo e água em reservatório de fluido de corte em Centros de Usinagem. O sensor condutivímetro atendeu a expectativa e, portanto, foi escolhido por melhor atender essa necessidade.

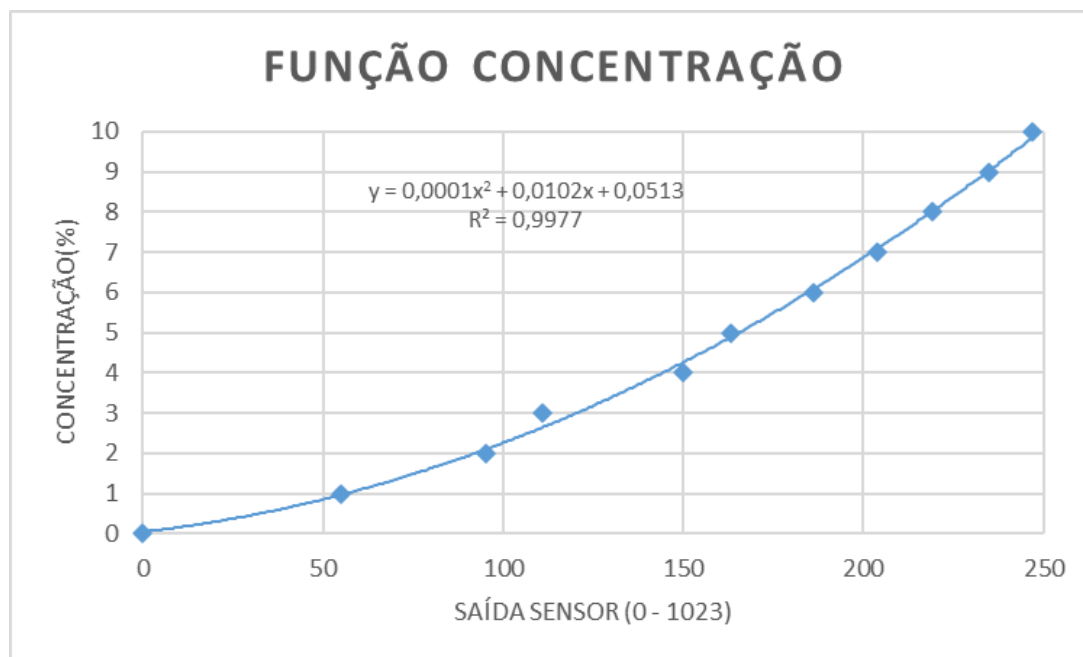


Figura 8: Função da concentração obtida na saída do sensor condutivímetro

Fonte: O autor (2021).

Tabela 1: Concentração mássica – óleo de corte sintético (marca Tirreno) O autor (2021).

CONCENTRAÇÃO MÁSSICA ÓLEO DE CORTE SINTÉTICO (TIRRENO)			
Concentração Brix (%)	Volume óleo (ml)	Volume água (ml)	% volumétrica óleo
0	0	200	0,0%
1	5	200	2,5%
2	8	200	4,0%
3	12	200	6,0%
4	17	200	8,5%
5	22	200	11,0%
6	27	200	13,5%
7	32	200	16,0%
8	37,5	200	18,8%
9	43,5	200	21,8%
10	50,5	200	25,3%

O cálculo da função de concentração mássica (Figura 9) do óleo foi necessário por permitir conhecer a porcentagem de óleo dissolvido na água em relação a concentração indicada no instrumento refratômetro utilizado como unidade o °Brix. Esse parâmetro é necessário para garantir a exata adição mássica de óleo pela bomba, de acordo com a necessidade durante o processo e a vazão bomba, uma vez que o microprocessador precisa de entradas que relacionam unidades relativas para ter êxito nos sinais de saídas que deverá atuar através do relé.

Utilizou-se 200 ml de água em um recipiente e gradativamente foi adicionado óleo de corte até atingir graduações unitárias de 1 a 10 °Brix (Tabela 1) , utilizando o refratômetro e, por fim, foi identificada a expressão (Eq. 1) que relaciona tais grandezas:

$$Y = 0,0001. X^2 + 0,0102. X + 0,0513$$

(1)

Sendo: Y = Concentração da mistura;
X= Saída do Sensor condutivímetro.

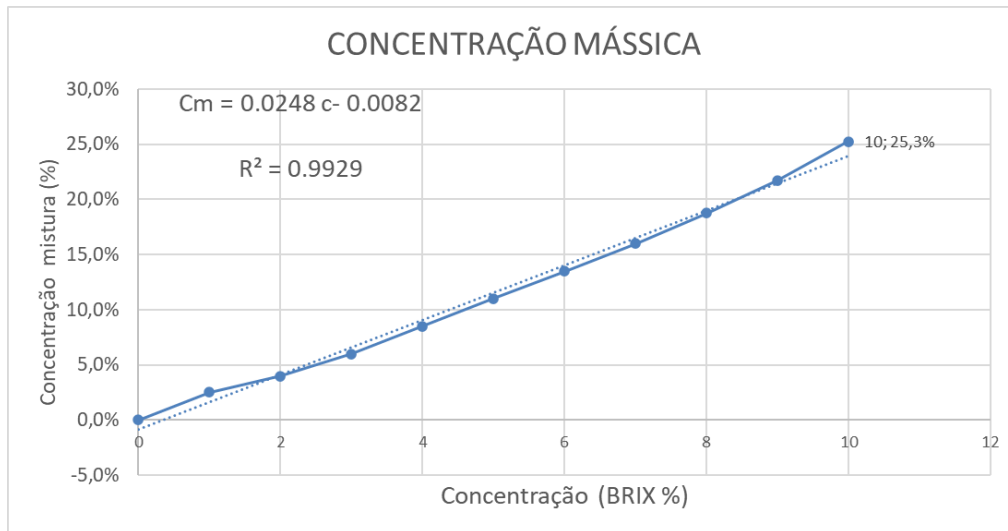


Figura 9: Concentração mássica - Relação da concentração °Brix
Fonte: O autor (2021).

$$C_m = 0,0248c - 0,0082.$$

(1)

Sendo: C_m = Concentração mássica (%); C = Concentração real (°Brix);

3. RESULTADOS

No protótipo foi feita a testagem da mistura em várias possibilidades de concentrações iniciais, a cada mistura eram acionadas as bombas tanto de água como de óleo até atingir a concentração desejada e nível máximo do reservatório.

Porém antes de alcançar este resultado, houve a necessidade de ajustes na entrada de sinais do sensor condutivímetro que mede a concentração, quanto também o sensor ultrassônico que mensura o volume do reservatório. Estes sensores, devido a alta sensibilidade dos sinais, apresentavam ruídos com amplitudes na faixa de 0,1 °Brix. Este problema foi resolvido utilizando um circuito com um resistor /capacitor em paralelo na saída dos sensores, como também tratados dentro do programa através de médias móveis, alcançando assim uma boa estabilização e garantindo leituras mais estáveis.

O protótipo atendeu seu objetivo tanto com o gerenciamento da concentração em tempo real como também possibilitou que o operador visualize seu status através de um display que indica a concentração instantânea e o nível do reservatório.

Caso ocorra a falta de óleo no reservatório, haverá sinais sonoros para alertar o operador através da utilização sensores finais de curso instalados no fundo do reservatório.

Considerando a implementação na empresa pesquisada, onde há 23 centros de usinagem, com consumo médio mês de 2400 litros de óleo de corte sintético e necessidade de utilização de mão de obra mensal com ajustes semanais em cada máquina com duração média de 30 minutos resultando 46 horas/homem mensais. Com todas estas considerações, utilizando valores atuais do preço deste óleo que custa em torno de R\$ 20,00 / litro e valor adotado na empresa de R\$ 59,00 a hora / homem, pode-se assim aproximar o potencial de benefício anuais na implementação deste projeto nesta empresa anualmente tanto na economia de 36%, e possível relocação do funcionário para outra atividade:

$$2400 \text{ litros} \times 20,00 \text{ Reais} \times 12 \text{ meses} \times 0,36 \% \text{ economia} = \text{R\$ } 207.360,00 / \text{Ano} \quad (3)$$

$$0,5 \text{ horas} \times \text{R\$ } 59,00 \times 23 \text{ máquinas} \times 4 \text{ semanas} \times 12 \text{ meses} = \text{R\$ } 32.568 / \text{Ano} \quad (4)$$

Totalizando uma economia de R\$ 239.928,00

No entanto esta economia deve ser subtraída do custo da aquisição e instalação deste projeto nas máquinas, totalizando uma previsão de investimento médio de R\$4000,00 por máquina e total de R\$ 92.000,00 em 23 máquinas, ou seja, com tempo de retorno do investimento de 4,5 meses, tornando viável a princípio este projeto.

4. CONCLUSÕES

A elaboração do protótipo foi uma oportunidade importante por deparar-se com uma situação real quanto à necessidade de desenvolvimento de um projeto, pois requer responsabilidade, planejamento e muita pesquisa.

A utilização do microprocessador Arduino como sistema supervisor proporcionou contato direto ao meio da programação, mostrando que existe oportunidade de automação em muitas atividades que hoje ainda são feitas manualmente no ambiente de trabalho.

A dificuldade maior percebida durante o projeto foi na procura de um sensor para utilizar como transdutor da concentração de óleo de corte, variando o sinal de forma proporcional, possibilitando mensurar de forma indireta a proporção da mistura de óleo de corte e, com isso, poder otimizar um processo que hoje é feito manualmente.

Neste trabalho pode-se ter a oportunidade de perceber que a prototipagem é uma etapa importante durante o projeto, proporcionando maior interação na solução de problemas, permitindo testar possibilidade com custos menores e resultados mais robustos, ou seja, ter alterações durante o planejamento do projeto é mais econômico com resultados satisfatórios.

Esse protótipo procurou propor a realização e implementação futura em Centros de Usinagem para reduzir os custos com mão de obra e consumo de óleo de corte utilizados durante a usinagem. Acredita-se ser uma proposta muito interessante para empresas do ramo, pois não há disponível no mercado equipamento que faça essa atividade e seu custo-benefício justifica a implementação desse dispositivo com tempo curto no retorno do investimento.

5. AGRADECIMENTOS

Aos Professores, ao Orientador e à família.

6. REFERÊNCIAS

- ASTAKHOV, V. P. **Tribology of metal cutting**. London: Elsevier, 2006. 425p.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos metais**. 8. ed. São Paulo: Artiber, 2014. 270p.
- Processo de fabricação mecânica**. Instituto Federal de São Paulo. Campus São José dos Campos. Petrobras. 2020.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting**. 4. ed. Oxford: Butterworths Heinemann, 2000. 446p.

Cutting oil optimization project in a machining center

Ademir Bonfim

Pablo Deivid Valle

Fernando Deschamps

Alessandro Marques

Universidade Federal do Paraná

ademirbonfim42985@gmail.com

Abstract: A cutting oil optimization project was developed for a Machining Center, addressing the conceptual design, the morphological matrix, the systems, subsystems and components, reported on the Quality Function Deployment and on the detailed project. **Method:** the prototype monitored the cutting oil concentration using a conductivity sensor immersed in the mixture. The conductivity of the fluid is proportional to the concentration, the signal was treated using an equation defined by an experiment with samples measured with a refractometer. Once the concentration was collected, the Arduino received the signal from the mixture reservoir level through the ultrasonic sensor, which calculated through equations, the ideal amount of water and oil injection, through pumps that acted by relays, commanded by the Arduino, until the ideal level and concentration of the mixture is reached, including level sensors in the reservoirs to indicate the need / lack of oil for feeding and an LCD display for the human / machine interface, informing the concentration and levels of the mixture in real time. **Result:** the prototype met the need, requiring adjustments in fluid injection, as it did not exactly match the flow indicated by the pump supplier. **Conclusion:** the prototype will serve as a basis for future implementation in a Machining Center.

Keywords: machining center, consumption of cutting oil, optimization, cost reduction.