

Integração e Padronização do Sistema de Controle Eletro-Hidráulico da Garra Traçadora utilizando CLP

Integration and Standardization of the Electro-Hydraulic Control System of the Felling Grapple using a PLC

Integración y Estandarización del Sistema de Control Electrohidráulico de la Garra Trazadora mediante PLC

Luan Gabriel Belo¹
Cristhiano da Costa Herrera²

Resumo: Este trabalho desenvolveu uma interface elétrica padronizada para o acionamento das funções principais da garra traçadora florestal. A pesquisa buscou padronizar o controle eletro-hidráulico da garra traçadora tornando-a compatível com diferentes modelos de máquinas. A metodologia consistiu na análise e implementação dos requisitos hidráulicos, no levantamento das necessidades de componentes elétricos e no desenvolvimento de um circuito elétrico baseado em Controlador Lógico Programável (CLP). Como resultado, foi proposta uma arquitetura padronizada capaz de facilitar a instalação, reduzir as variações entre equipamentos e melhorar a confiabilidade do acionamento. A solução desenvolvida demonstrou potencial para ampliar a aplicação da solução entre máquinas otimizando o desempenho operacional no ambiente florestal.

Palavras-chave: Garra traçadora. Automação florestal. Sistema eletro-hidráulico. CLP. Interface elétrica.

Abstract: This study developed a standardized electrical interface for actuating the main functions of a forestry processing grapple. The research aimed to standardize the electro-hydraulic control of the processing grapple, making it compatible with different machine models. The methodology consisted of analyzing and implementing hydraulic requirements, identifying the necessary electrical components, and developing an electrical circuit based on a Programmable Logic Controller (PLC). As a result, a standard architecture was proposed to facilitate installation, reduce variations among equipment, and improve actuation reliability. The developed solution demonstrated potential to expand its application across different machines, optimizing operational performance in the forestry environment.

Keywords: Cutting grapple. Forestry automation. Electro-hydraulic system. PLC. Electrical interface.

Resumen: Este trabajo desarrolló una interfaz eléctrica estandarizada para el accionamiento de las funciones principales de la garra procesadora forestal. La investigación tuvo como objetivo estandarizar el control electrohidráulico de la garra procesadora, haciéndola compatible con diferentes modelos de máquinas. La metodología consistió en el análisis e implementación de los requisitos hidráulicos, el levantamiento de las necesidades de componentes eléctricos y el desarrollo de un circuito eléctrico basado en un Controlador Lógico Programable (CLP). Como resultado, se propuso una arquitectura estandarizada capaz de facilitar la instalación, reducir las variaciones entre equipos y mejorar la confiabilidad del accionamiento. La solución desarrollada demostró potencial para ampliar su aplicación entre distintas máquinas, optimizando el desempeño operativo en el entorno forestal.

Palabras-clave: Garra trazadora. Automatización forestal. Sistema electrohidráulico. CLP. Interfaz eléctrica

Submetido 13/03/2026

Aceito 21/07/2026

Publicado 04/08/2026

¹ Graduando. IFSP Itapetininga. <https://orcid.org/0009-0002-2413-7717>. Email: luan.gabriel.belo@gmail.com

² Doutor. USP. <https://orcid.org/0000.0002-9918-2988>. E-mail: cristhiano@ifsp.edu.br

Considerações iniciais

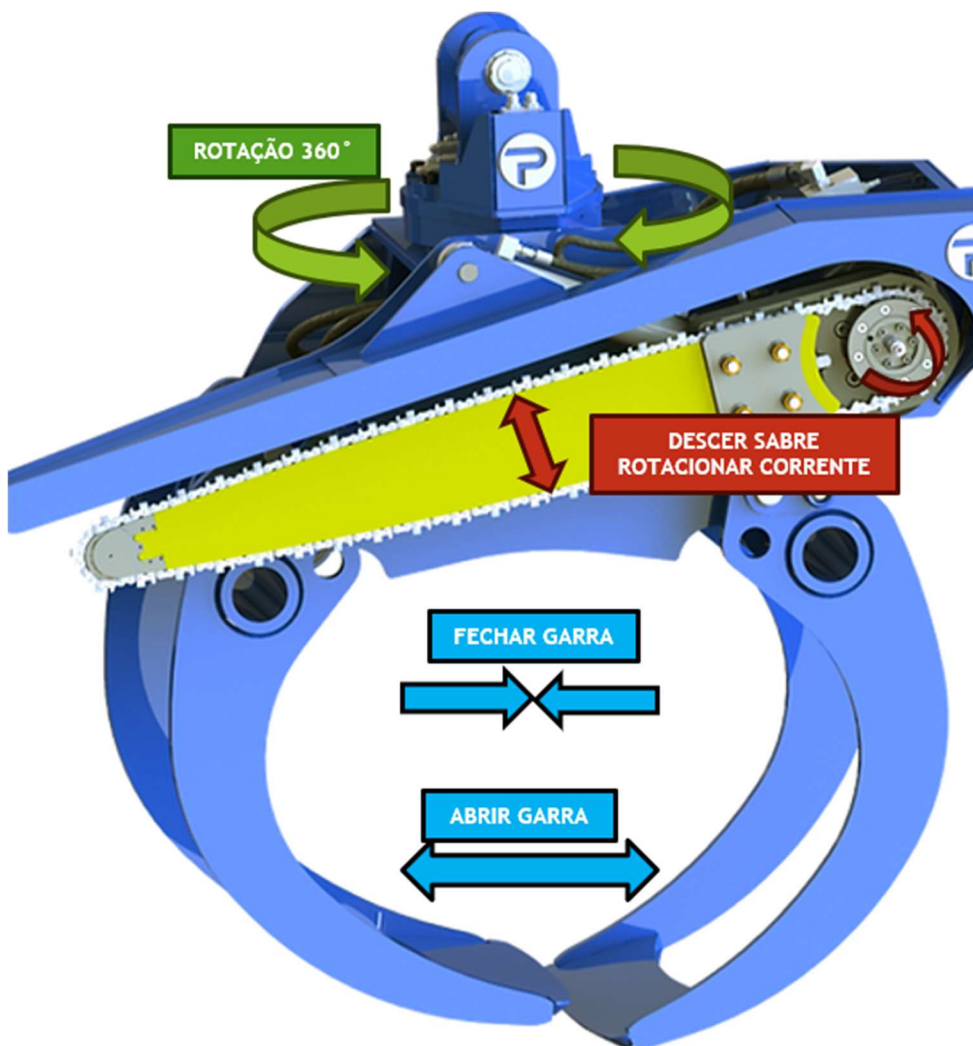
A colheita florestal evoluiu significativamente nas últimas décadas, incluindo a adoção de sistemas de processamento baseados no método *Full Tree* (sistema de colheita de árvores inteiras, com casca e galhos, utilizando três modelos de equipamentos), no qual o processamento das árvores ocorre após o arraste realizado pelo *Skidder* (máquina florestal destinada ao arraste de árvores ou feixes de madeira até a borda das quadras, ou dos feixes derrubados pelo *Feller* (máquina responsável pelo corte e derrubada das árvores) executando o processamento diretamente no talhão. Nesse contexto, a garra traçadora se destaca como um implemento essencial, acoplado a escavadeiras hidráulicas ou máquinas pesadas adaptadas, responsável por executar três funções fundamentais: agarrar, posicionar e cortar o feixe de madeira (FIEDLER; ROCHA; LOPES, 2008). Essa combinação de funções permite padronizar os comprimentos dos toretes conforme as exigências de transporte e consumo industrial. O implemento reúne robustez estrutural, elevada capacidade de carga e um sistema hidráulico dedicado, capaz de atuar com precisão mesmo em ambientes severos característicos da atividade florestal (KOMATSU FOREST, s.d.).

O uso da garra traçadora tornou-se amplamente difundido devido à sua eficiência no processamento da madeira, substituindo tarefas manuais historicamente associadas a riscos ergonômicos, baixa produtividade e elevada variabilidade no comprimento dos toretes (FIEDLER; ROCHA; LOPES, 2008). Apesar dessas vantagens operacionais, a adaptação da garra traçadora em diferentes modelos de máquinas base apresenta desafios técnicos, especialmente no que se refere à integração entre o sistema hidráulico já existente e os dispositivos elétricos e eletrônicos necessários para o controle de solenoides, válvulas direcionais e atuadores. A variabilidade entre fabricantes, modelos de comandos e configurações de pilotagem evidencia a necessidade de um sistema de controle que seja flexível, padronizado e facilmente adaptável.

Identificando as funcionalidades do implemento suas principais movimentações estão presentes na Figura 1, abrir e fechar a garra representado em azul, girar a garra 360° representado em verde, acionar e retornar o conjunto de corte representado em vermelho, onde ao acionar o conjunto de corte o movimento de descer o sabre e rotacionar a corrente de corte

ocorrem simultaneamente, e ao retornar automaticamente a corrente não se movimenta apenas o sabre.

Figura 1: Movimentos da garra traçadora



Fonte: Adaptado de Potenza Industria (2025).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e apresentar uma proposta de interface elétrica padronizada para o acionamento das funções principais da garra traçadora, abertura e fechamento da garra, e acionamento e retorno do conjunto de corte. Essa interface baseia-se no uso de um Controlador Lógico Programável (CLP), possibilitando integração simplificada, maior confiabilidade de acionamento e futura expansão de

funcionalidades. Por meio da padronização proposta, busca-se facilitar o processo de adaptação da garra traçadora a diferentes modelos de máquinas, reduzir o tempo de montagem e desmontagem do dispositivo, aumentar a confiabilidade do sistema e proporcionar aos operadores e técnicos uma solução mais intuitiva, segura e tecnicamente consistente para o ambiente florestal.

Metodologia

Condições para desenvolvimento

Para esquematização da interface elétrica do implemento garra traçadora, é necessário a utilização de quatro solenoides, geralmente utiliza-se os modelos TN6 24V para atender as funções da operação do equipamento, através delas o sistema hidráulico da máquina em adaptação comandará a linha piloto a fim de atuar os comandos e atuadores. As etapas lógicas de funcionamento consistem em três botões pulsantes, sendo dois para movimentar a garra do implemento, e um para acionar o sistema de corte. O conjunto de corte possui um cilindro hidráulico que movimenta o sabre. O sistema operacional aplicado consiste em acionar o cilindro e ao soltar o botão pulsante ele retorne o curso automaticamente, eliminando o uso de um segundo botão.

As condições de operação desse equipamento são críticas em relação ao contato com cavacos, galhos e toras provenientes da derrubada e processamento da madeira, portanto inviabiliza o uso de sensores e componentes sensíveis no sistema. Para definir o fim de curso do atuador, o operador efetua a parada do cilindro de forma manual, apenas visualizando o ponto onde deseja parar. O percurso de retorno leva em torno de 6 segundos, em que atualmente utiliza-se um único botão para acionamento do sistema de corte. Para permitir o retorno automático do cilindro, é necessário o uso de um temporizador ajustável para definir o tempo de curso. Outro fator que dificulta o uso de sensores e componentes elétricos no sistema, é que a garra do implemento rotaciona livremente em 360° ao redor da sua fixação na ponta da lança da máquina, com isso se faz necessário o uso de um coletor giratório (*swivel*) para distribuir o fluxo de óleo direcionado do comando da máquina base até os atuadores do implemento. Assim, o uso de um sensor de fim de curso para o cilindro do sabre tornaria necessário o desenvolvimento de um coletor giratório elétrico aumentando a complexidade do sistema.

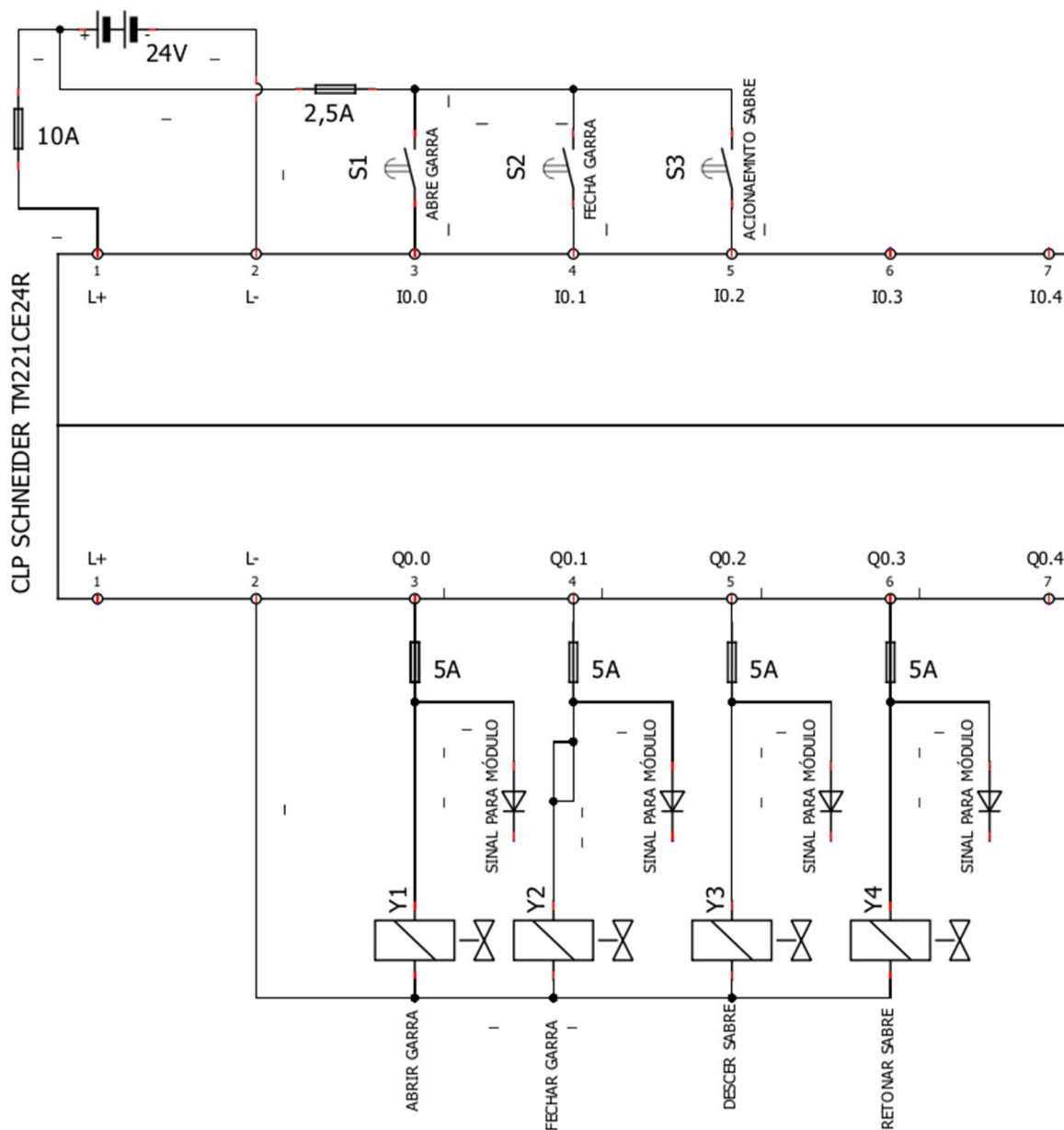
Máquinas com o implemento garra traçadora são adaptadas por parceiros especializados ou revendedores autorizados da marca aplicada. A interface hidráulica e elétrica do sistema que será inserido varia entre as regiões e o modelo da máquina. Assim, o sistema elétrico a ser desenvolvido foi pensado para conter as partes essenciais e facilitar a adaptação de outros componentes, se necessário. O uso do CLP garante a adaptação ou inserção de mais funções conforme necessidade do mercado ou evolução tecnológica. Os componentes essenciais e genéricos do sistema serão inseridos no circuito elétrico e configurados através de um CLP, onde torna-se possível o uso em qualquer modelo de máquina. As saídas configuradas terão saídas para funções específicas e saídas disponíveis para comunicação com a máquina base. Ao acionar uma das funções / solenoides do implemento podem ser necessário enviar um sinal ao sistema eletrônico da máquina base, a fim de propulsionar o motor diesel ou aumentar o fluxo de óleo hidráulico do sistema.

Projeto do circuito elétrico

O circuito elétrico proposto utilizará três botões pulsantes, quatro solenoides, seis fusíveis de proteção e quatro díodos. Dois botões terão as funções de abrir e fechar a garra e um botão será utilizado para acionamento do conjunto de corte. As quatro solenoides atuarão para abrir e fechar a garra e acionar e retornar o conjunto de corte. Os fusíveis aplicados estarão na linha de alimentação do CLP. Com esses componentes é possível configurar o sistema para a maioria das situações em que é adaptada a garra traçadora, podendo ser necessário somente pequenas alterações devido ao desenvolvimento do circuito hidráulico.

A metodologia de elaboração do esquema eletro-hidráulico utilizou o ElectroTech, um *software* livre e eficiente para a aplicação. A arquitetura do sistema de controle, projetada para gerenciar o processo de acionamento do implemento, é detalhada na Figura 2, que ilustra a conexão entre os comandos e solenoides com o CLP disponível no *software*. Esse diagrama facilita a adaptação na máquina e procura padronizar o sistema utilizado.

Figura 2: Diagrama elétrico da conexão com o CLP

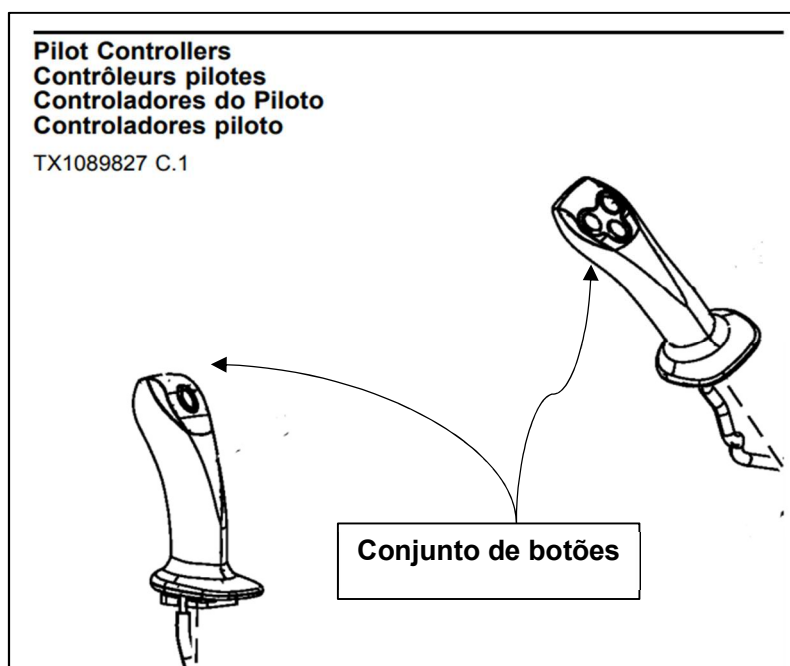


Fonte: Próprio autor.

A fonte de alimentação do sistema foi projetada por meio de baterias ou de uma fonte de energia pós-chave do equipamento (linha 15). Os sinais do módulo exemplificam a ligação ao sistema eletrônico da máquina base, com o intuito de realizar funções específicas para o funcionamento do sistema. Os botões aplicados ficam presentes no manete (*joystick*) da

máquina (Figura 3), onde é possível já haver uma fonte de alimentação, dispensando a ligação de alimentação, sendo necessário apenas ligar as saídas dos contatos às entradas do CLP.

Figura 3: Representação do manete *joystick*



Fonte: John Deere – Catálogo de Peças 350G (2015). Imagem editada pelo autor.

Para o dimensionamento dos condutores nas entradas do CLP onde a corrente aplicada é extremamente baixa, pode-se aplicar bitolas de cabos padrões recomendados pela indústria como o cabo flexível AWG20 que possui capacidade de corrente de 1,6A e diâmetro de 0,8mm. Para as saídas e conexão com os solenoides, leva-se em consideração uma corrente de aplicação de 1,25A na linha, portanto indica-se o uso de cabos flexíveis AWG18 com capacidade de corrente de 2,5A e diâmetro de 1mm verificado em tabelas técnicas (NOVACON, 2025).

Os diodos aplicados podem ser dimensionados pela corrente dos solenoides e a tensão do circuito, onde se aplica a consideração da tensão aplicada multiplicado por 2 para segurança do sistema sendo está a tensão reversa e a corrente direta dos solenoides de 1,25A. O diodo escolhido para essa aplicação é o modelo 1N540X, sendo o X selecionado pela ficha técnica do diodo, onde o ideal para aplicação é o 1N5400 (VISHAY INTERTECHNOLOGY, 2025). O diodo deve ser instalado em paralelo com a bobina do solenoide, com a faixa (lado do cátodo)

conectada ao ponto positivo (+24V) e o outro lado (ânodo) conectado ao ponto negativo (0V/GND). Isso garante que, em condições normais, o diodo permaneça polarizado de forma reversa (não conduz corrente), mas, quando a solenoide é desligada, ele oferece um caminho para a corrente indutiva "rodar livremente" até se dissipar, protegendo o relé do CLP.

Escolha do CLP

Para selecionar o CLP pressupõe-se que as adaptações farão uso dos solenoides TN6 24V aplicadas em válvulas direcionais nos sistemas hidráulicos. Com base nisso, pode-se determinar a corrente de saída em cada linha, levando-se em conta a quantidade de entradas e saídas necessárias para definir o CLP para aplicação no sistema. Em escavadeiras e máquinas pesadas onde são aplicados o implemento garra traçadora a principal fonte de alimentação é 24V, portanto para um solenoide que possui característica de potência 30W a corrente aplicada por solenoide será de 1,25A. para minimizar o sistema e diminuir componentes torna-se viável o uso de um CLP com saídas que suportam essa corrente, diminuindo ou extinguindo o uso de relés.

O CLP selecionado é o SCHNEIDER TM221CE24R visto na Figura 4, com saídas a relés que suportam uma corrente de 2A cada.

Figura 4: Controlador Lógico Programável (CLP) Schneider Electric



Fonte: SCHNEIDER ELECTRIC (2025).

Programação LADDER

Serão utilizadas três entradas e quatro saídas para resolução da interface. Para a configuração do circuito *ladder*, utilizou-se o *software EcoStruxure Machine Expert – Basic*, próprio do fabricante do CLP, com o uso de quatro *rungs*, que são as linhas de programação do *software*, através das quais configuraram-se as entradas, memórias, processadores e saídas para o circuito. Para a programação, parte das entradas de sinais ligam direto com as saídas, porém em específico para o retorno do sabre, é necessário o uso do temporizador interno TOF para controlar o tempo de retorno do sabre, na saída do temporizador utiliza-se um contato fechado de Q0.2 para evitar sobreposição de sinais entre Q0.2 e Q0.3. A representação da programação no *software* está na Figura 5 abaixo.



Figura 5: Programação ladder no software EcoStruxure Machine Expert – Basic



Fonte: Próprio autor.

A classificação dos componentes de programação, está inserida na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Componentes da programação

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO NO DIAGRAMA
%I0.0	Entrada de sinal abrir garra	Botão pulsante S1
%I0.1	Entrada de sinal fechar garra	Botão pulsante S2
%I0.2	Entrada de sinal acionamento sabre	Botão pulsante S3
%M0	Memória de %I0.2	Programado no CLP
%TM0	Temporizador TOF 6 segundos	Programado no CLP
%Q0.0	Saída de sinal abrir garra	Acionar Y1
%Q0.1	Saída de sinal fechar garra	Acionar Y2
%Q0.2	Saída de sinal descer sabre	Acionar Y3
%Q0.3	Saída de sinal retornar sabre	Acionar Y4

Fonte: Próprio autor

O Temporizador TOF fará a função de automatizar o retorno do sabre (conjunto de corte) após o acionamento, configurado para 6 segundos (tempo médio de curso do cilindro), caso esse tempo não coincida com o tempo real, basta ajustar na programação o valor adequado para máquina em adaptação.

O CLP selecionado atende as funções essenciais para o sistema em estudo, caso haja inclusão ou alteração do modelo de solenoide, as dimensões de corrente devem ser levadas em consideração. Caso excedam o valor suportado pelas saídas do CLP deve-se incluir ao circuito elétrico um painel de relés auxiliares para atender a capacidade, ou até buscar outros modelos de CLP.

Válvula direcional

Para o funcionamento do sistema, é necessário utilizar uma válvula direcional, responsável por conduzir o fluxo de óleo hidráulico proveniente da máquina base aos atuadores e comandos do implemento. No projeto, as funções de movimentação da garra e do conjunto de corte são acionadas diretamente pelo comando hidráulico da máquina, enquanto as solenoides instaladas na válvula direcional têm a função de direcionar o fluxo de óleo piloto, promovendo o deslocamento do carretel do comando principal da válvula da máquina, permitindo a execução das manobras desejadas. Aplica-se à válvula direcional 4/3 vias duplo solenoide do fabricante BOSCH modelo Rexroth 4WE6J6X/EG24N9K4, no qual as codificações representam configurações específicas da válvula, conforme a Tabela 2 abaixo (BOSCH REXROTH, 2020):

Tabela 2 – Codificação da válvula direcional

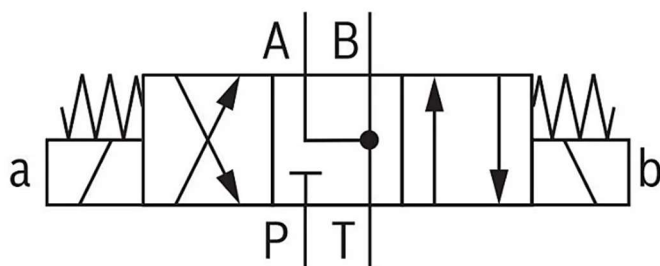
Parte do código	Significado
4	Número de vias (4 vias)
W	Válvula direcional
E	Acionamento elétrico por solenoide
6	Tamanho nominal NG6 / CETOP 03

J	Tipo de carretel (função hidráulica do spool)
6X	Série de projeto
EG24	Bobinas 24 VDC
N9	Com acionamento de emergência coberto
K4	Conector com conexão DIN EN 175 301-803

Fonte: Próprio autor

É importante definir o centro do carretel da válvula para que a linha de pressão piloto disponível no equipamento não venha a sofrer queda de valor caso seja direcionada à linha de retorno, portanto o tipo J atende a especificação onde no centro da válvula isola-se a pressão de alimentação e direciona as duas vias A e B para retorno, conforme a Figura 6 abaixo onde P representa a linha de pressão proveniente do sistema da máquina, T a linha de retorno ao tanque hidráulico, A e B as linhas de saída da válvula que serão direcionadas ao comando da máquina, a e b são as solenoides TN6 24V que farão o direcionamento do carretel da válvula (BOSCH REXROTH, 2020).

Figura 6: Simbologia da válvula direcional



Fonte: Adaptado de Rexroth RE 23178 (2019).

Buscando facilitar a adaptação da interface elétrica de uma garra traçadora no equipamento, utiliza-se um modelo de solenoide ON/OFF (TN6 24V) comumente aplicado na indústria, favorecendo a disponibilidade de fornecedores de peças. Essa válvula possui capacidade de pressão máxima de até 350 bar, vazão nominal de 60 L/min, e temperatura de

operação de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (BOSCH REXROTH, 2020). O aspecto da válvula direcional Rexroth 4WE6J6X/EG24N9K4 é visto na Figura 7.

Figura 7: Válvula direcional Rexroth 4WE6J6X/EG24N9K4.



Fonte: Rexroth RE 23178 (2019).

Interface do sistema

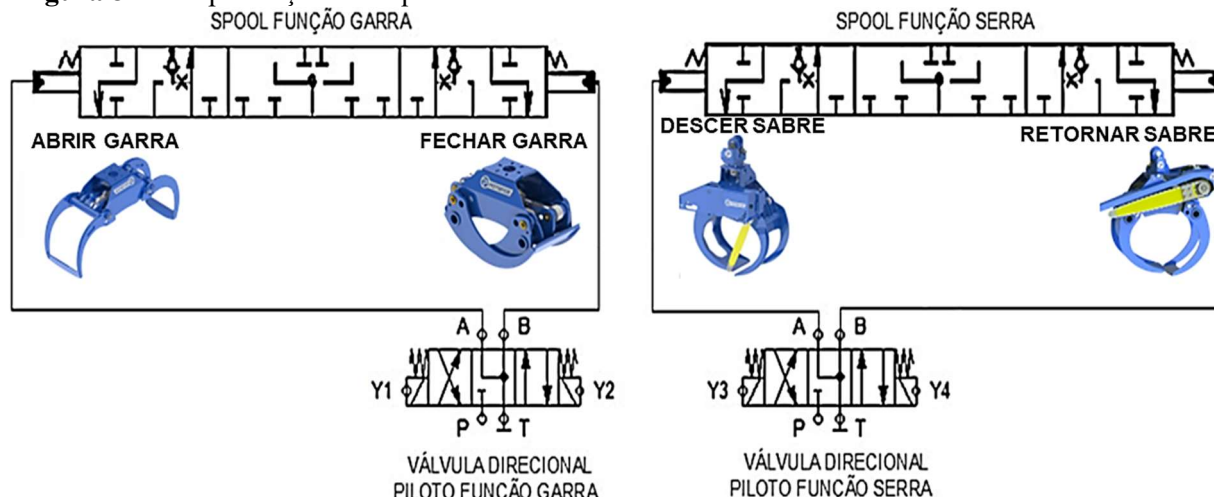
As válvulas direcionais têm a função de comutar os *spools* do comando hidráulico da máquina base, que possui a pressão de trabalho adequada para o acionamento dos atuadores do implemento. Dessa forma, essas válvulas direcionam a pressão piloto do sistema, enviando o fluxo às entradas de pilotagem de cada carretel. A Figura 8 ilustra esse princípio de atuação, no qual o conjunto de solenoides Y1 e Y2 realiza a comutação das funções de abrir e fechar a garra, enquanto as solenoides Y3 e Y4 comandam as funções de acionar e retornar o conjunto de corte.

Seguindo esse princípio de controle, a incorporação do conjunto de válvulas direcionais permite a adaptação do implemento garra traçadora em diferentes modelos de máquinas base. Mesmo havendo variações entre os comandos hidráulicos e tipos de carretéis utilizados por cada fabricante, o funcionamento permanece equivalente, onde as válvulas direcionais realizam a comutação e o direcionamento hidráulico da linha piloto que trabalha em torno de 25 a 45 bar, enquanto o comando original da máquina é responsável por disponibilizar o fluxo principal para os atuadores do implemento (BOSCH REXROTH, 2020).

O esquema hidráulico apresentado tem como objetivo mostrar a lógica de operação e a atuação das válvulas direcionais definidas pelo circuito elétrico. Assim, para fins didáticos, o sistema hidráulico completo da máquina base foi sintetizado apenas para os seus carretéis, embora, na prática, o circuito possua outros componentes essenciais, como válvulas de

restrição, válvulas de alívio, filtros e, em alguns modelos, sistemas de alimentação dupla de pressão e vazão.

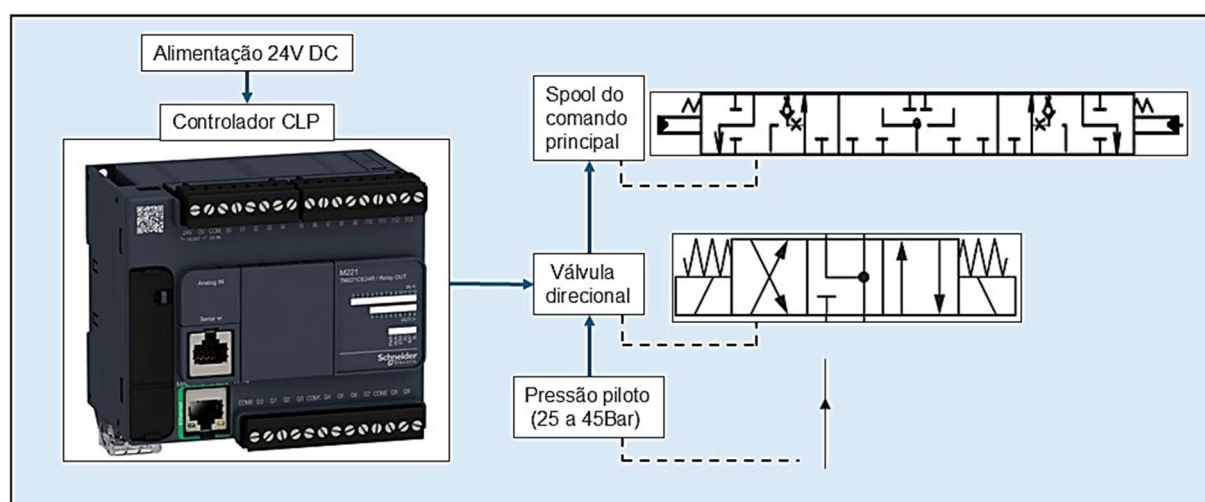
Figura 8: Exemplificação do esquema hidráulico



Fonte: Adaptado de Potenza Industria (2025).

A sequência lógica idealizada conforme a Figura 9, mostra que a inclusão do CLP é voltada ao controle do circuito elétrico dessas válvulas, onde as demais adaptações devem ser estudadas para o sistema hidráulico.

Figura 9: Exemplificação da interface



Fonte: Próprio autor.

Por fim, para a implementação da interface hidráulica do sistema de garra traçadora, é necessária a utilização dos itens citados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Componentes do projeto

COMPONENTE	CODIFICAÇÃO
Controlador Lógico Programável	SCHNEIDER TM221CE24R
Válvulas direcionais	Rexroth 4WE6J6X/EG24N9K4
Fusíveis	2, 5 e 10A
Diodos	1N5400
Cabos	AWG18 e AWG20

Fonte: Próprio autor

Análise dos dados e resultados

Os resultados obtidos com o desenvolvimento da interface elétrica padronizando o uso do CLP, garantem o funcionamento do sistema e tornam-se viáveis tecnicamente aplicá-lo em adaptações futuras, devido à flexibilidade na alteração da programação e lógica de funcionamento. Caso haja alterações e avanços tecnológicos no implemento, essa interface desenvolvida é capaz de atender à necessidade da máquina apenas alterando a programação. Além disso, permite organizar as entradas e saídas responsáveis pelos comandos do operador, direcionando controladamente cada atuador, facilitando a lógica de funcionamento e programação.

Com a análise das condições de funcionamento do projeto, verificou-se que o uso das válvulas direcionais 4/3 vias duplo solenoide é viável para o sistema eletro-hidráulico, tornando-o tecnicamente prático para adaptação em equipamentos, devido à fácil adaptação às estruturas hidráulicas em diferentes modelos de máquinas. Com o princípio de funcionamento projetado, o conjunto torna-se compatível com a maioria das escavadeiras e equipamentos utilizados na colheita florestal.

A proposta buscou reduzir adaptações específicas nas instalações e evitar inconsistências entre instalações. Obtém-se com o módulo padronizado, a integração da garra

traçadora em diferentes máquinas base, mantendo a lógica elétrica, o que reduz erros de instalação e facilita as intervenções de manutenção. Outro resultado relevante é a melhoria na confiabilidade do acionamento, uma vez que o CLP permite controle mais preciso, garantindo o tempo ideal para o retorno do conjunto de corte, reduzindo riscos de acionamentos simultâneos indevidos e possibilitando expansão futura para monitoramento de sensores e atuadores adicionais. A aplicação do projeto é voltada para o controle das válvulas direcionais que são adaptadas ao sistema hidráulico do equipamento, quando incluído o implemento da garra traçadora na máquina.

Considerações Finais

A interface elétrica apresentada utilizada na implementação de garra traçadora, traz um avanço significativo em termos de tecnologia e facilidade de manutenção das diferentes máquinas adaptadas. Os resultados obtidos nas simulações foram muito positivos. O próximo passo em estudos futuros é a validação em ambiente de operação real, analisando os fatores que poderão influenciar no desempenho, como: vibrações, variações de tensão e condições térmicas mais severas. Recomenda-se, que se incluam testes de campo e possível incorporação de sensores de diagnóstico, além do desenvolvimento padronizado do sistema hidráulico adaptado.

Referências

BOSCH REXROTH. **Directional spool valves, direct operated, with solenoid** – WE 6../.E. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.boschrexroth.com/media/2ef9f5e4-8434-4aac-9ffc-ca7c8617844a>. Acesso em: 29 nov. 2025.

FIEDLER, N. J.; ROCHA, E. B. da; LOPES, E. S. da. **Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás**. Floresta, Curitiba, v. 38, n. 4, 2008. DOI: 10.5380/rf.v38i4.13153. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

KOMATSU FOREST. **Garra traçadora**. Disponível em: <<https://www.komatsuforest.com.br/produtos/garra-tracadora>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

NOVACON. **Tabela de fios AWG (American Wire Gauge)**. Disponível em: <<http://www.novacon.com.br/audiotabawg.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

POTENZA INDÚSTRIA. **Potenza Indústria – soluções para o setor florestal**. Disponível em: <<https://www.potenzaindustria.com.br/>>. Acesso em: 13 dez. 2025.

QELECTROTECH. **QElectroTech**: software E-CAE livre e de código aberto. Versão 0.100. Disponível em: <https://qelectrotech.org/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

SCHNEIDER ELECTRIC. **EcoStruxure Machine Expert Basic**: software de programação de CLP para Modicon M221. Versão 1.2 SP1. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=Machine_Expert_Basic_V1_2_SP1&p_enDocType=Software+-+Release&p_File_Name=MachineExpertBasic_V1.2_SP1.zip. Acesso em: 11 nov. 2025.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Modicon M221 logic controller**: TM221CE24R. [S.l.: s.n.], Ano de Publicação. Disponível em: <https://www.se.com/us/en/product/download-pdf/TM221CE24R?filename=Schneider+Electric_Modicon-M221-Nano-PLC_TM221CE24R.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

VISHAY INTERTECHNOLOGY. **General purpose plastic rectifier**: 1N5400 thru 1N5408. Revision 16-Sep-2022. [S.l.]: Vishay, 2022. 5 p. Disponível em: <https://www.vishay.com/docs/88516/1n5400.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.