

BRUNO MIRANDA ARTACHO

**AUTOMAÇÃO EM RASPADORA DE PNEUS UTILIZANDO CONTROLE
NUMÉRICO COMPUTADORIZADO COM CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMÁVEL INTEGRADO**

Guaratinguetá - SP
2015

BRUNO MIRANDA ARTACHO

**AUTOMAÇÃO EM RASPADORA DE PNEUS UTILIZANDO CONTROLE
NUMÉRICO COMPUTADORIZADO COM CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMÁVEL INTEGRADO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Agnelo Marotta Cassula

Guaratinguetá
2015

A784a

Artacho, Bruno Miranda

Automação em raspadora de pneus utilizando controle numérico computadorizado com controlador lógico programável integrado / Bruno Miranda Artacho – Guaratinguetá, 2015.

62 f. : il.

Bibliografia : f. 60-62

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr Agnelo Marotta Cassula

1. Automação industrial 2. Inversores elétricos 3. Pneus – Reaproveitamento 4. Controladores programáveis I. Título

CDU 681.3:621.5

AUTOMAÇÃO EM RASPADORA DE PNEUS UTILIZANDO CONTROLE
NUMÉRICO COMPUTADORIZADO COM CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMÁVEL INTEGRADO

BRUNO MIRANDA ARTACHO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO
DIPLOMA DE **GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. AGNELO MAROTTA CASSULA
Orientador / UNESP-FEG



Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
UNESP-FEG



Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO LOTUFO
UNESP-FEG

NOVEMBRO de 2015

DADOS CURRICULARES

BRUNO MIRANDA ARTACHO

NASCIMENTO 30.07.1992 – SÃO PAULO / SP

FILIAÇÃO Mauricio Artacho
Maria Cristina Miranda Artacho

2010/2015 Curso de Graduação
Engenharia Elétrica - Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Agnelo Marotta Cassula por sua ajuda e dedicação para a realização deste trabalho. Também agradeço aos meus pais Cristina e Mauricio pela ajuda durante toda a graduação.

ARTACHO, B. M. Automação em raspadora de pneus utilizando Controle Numérico Computadorizado com Controlador Lógico Programável integrado. 2015. 62 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Este trabalho realiza o estudo e desenvolvimento da automação de máquina para raspagem de pneus. São discutidos os avanços na indústria, a automação de processos industriais, o processo de reciclagem de pneumáticos veiculares, as vantagens da reutilização de pneus para a preservação do meio ambiente e prováveis ganhos provenientes da automação de parte do processo de reciclagem dos pneus. No desenvolvimento do texto é detalhado o trabalho realizado para configurar, programar e aperfeiçoar o processo de raspagem através de componentes de automação: Controle Numérico Computadorizado, Controlador Lógico Programável, inversor de frequência. São realizados testes e simulações para determinar o período necessário para que o investimento realizado para automatização retorne em ganho de produtividade e lucro.

PALAVRAS-CHAVE: Raspadora de Pneu. CNC. PLC. Inversores de Frequência.

ARTACHO, B. M. Tyre-truing automation using Computer Numerical Control with integrated Programmable Logic Controller. 2015. 62 p. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

This work studies and develops a machine automation for tyre truing. It is discussed industry development, industrial processes automation, tyre-recycling process, advantages of tyre reuse for preservation of the environment and probable gains from the automation of part of the tyre-recycling process. In this text, it is detailed the work done to configure, program and optimize the truing process through automation components as CNC, PLC and drives. Tests and simulations are performed to determine the payback necessary period in productivity and profit gains.

KEYWORDS: Tyre-truing. CNC. PLC. Drives.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Composição de pneu	17
Figura 2.2 – Processo de raspagem manual	19
Figura 2.3 – Protótipo da raspadora durante montagem	21
Figura 3.1 – Diagrama de ligações de entrada e saída do inversor de frequência	24
Figura 3.2 – Inversor de frequência SINAMICS S120 da Siemens	24
Figura 3.3 – MCP e painel de operações do Sinumerik 840D sl da Siemens	26
Figura 3.4 – NCU do Sinumerik 840D sl da Siemens	27
Figura 3.5 – PLC S7-300 da Siemens	28
Figura 3.6 – <i>Thin Client</i> , HMI da Siemens	30
Figura 3.7 – ET 200S, sistema de entradas e saídas da Siemens.....	31
Figura 3.8 – Servomotores da linha 1FK7 da Siemens	32
Figura 3.9 – Cabos e conectores PROFINET	33
Figura 3.10 – Cabos e conectores PROFIBUS.....	34
Figura 4.1 – Eixos da máquina raspadora de pneus	36
Figura 4.2 – Conexões e principais componentes do projeto.....	37
Figura 4.3 – Controle de posição do Sinumerik 840D	38
Figura 4.4 – Curva do <i>setpoint</i> de velocidade inicial	39
Figura 4.5 – Programação do controle de posição no Sinumerik 840D sl	40
Figura 4.6 – Curva do <i>setpoint</i> de velocidade otimizado	41
Figura 4.7 – Programação gantry no Sinumerik 840D sl	43
Figura 5.1 – Pneu de caminhão leve Michelin	46
Figura 5.2 – Trajetória completa de raspagem	46
Figura 5.3 – Definição dos programas no CNC	49
Figura 5.4 – Executar o programa principal de raspagem.....	50
Figura 5.5 – Teclas de softkey contendo o acesso a área <i>Custom</i> na posição 7	51
Figura 5.6 – Tela de configuração da raspagem.....	52
Figura 5.7 – Tela de memórias de receitas	53
Figura 5.8 – Organização do PLC	54
Figura 6.1 – Lucro da produção com raspagem manual e automatizada	59
Figura 6.2 – Retorno do Investimento	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Custos da reciclagem do pneu	58
Tabela 6.2 – Produção de pneus reciclados estimada	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CF	<i>Compact Flash</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
CU	<i>Control Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
INMETRO	<i>Instituto Nacional de Medição, Quantidade e Tecnologia</i>
MCP	<i>Machine Control Panel</i>
MIT	<i>Massachussettes Institute of Technology</i>
MoMo	<i>Motor Module</i>
NC	<i>Numeric Control</i>
NCU	<i>Numeric Control Unit</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PI	<i>PROFINET International</i>
PID	Proporcional Integral e Derivativo
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PM	<i>Power Module</i>
PROFIBUS	<i>Process Field Bus</i>
STL	<i>Statement List</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol - Internet Protocol</i>
VDMA	<i>Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	13
2	COMPOSIÇÃO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PNEUS	14
2.1	COMPOSIÇÃO DOS PNEUS	14
2.2	RECICLAGEM DE PNEUS	15
2.3	AUTOMAÇÃO DA RASPADORA DE PNEUS	18
3	COMPONENTES DE CONTROLE E ACIONAMENTO	21
3.1	INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	21
3.2	CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO - CNC	23
3.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL - PLC.....	25
3.4	INTERFACE HOMEM MÁQUINA - HMI	27
3.5	SISTEMA DE ENTRADAS E SAÍDAS	28
3.6	SERVOMOTORES E <i>ENCODERS</i>	29
3.7	COMUNICAÇÃO PROFINET	30
3.8	COMUNICAÇÃO PROFIBUS.....	31
4	CONFIGURAÇÃO DO PROJETO	33
4.1	MALHA DE CONTROLE E GANHO	36
4.2	SINCRONIZAÇÃO DOS EIXOS NO CNC.....	39
5	PROGRAMAÇÃO DO CNC E PLC NA RASPADORA	42
5.1	DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS E TRAJETÓRIA DO CICLO DE RASPAGEM.....	42
5.2	CICLOS PRÉ-DEFINIDOS DE RASPAGEM	46
5.3	TELAS CUSTOMIZADAS DE CONFIGURAÇÃO	48
5.4	DESCRIÇÃO DO PLC	51
5.5	<i>FUNÇÕES SAFETY</i>	53
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
7	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A produção industrial é a principal atividade econômica e produtiva no mundo atual. A indústria tem como origem a Primeira Revolução Industrial, que ocorreu no fim do século XVIII e início do século XIX na Inglaterra. A revolução, ou criação, da indústria teve como objetivo criar formas de transformação de matéria-prima para produtos comerciais. Inicialmente, a energia e a força utilizadas eram principalmente de origem humana e de máquinas a vapor, carvão e ferro, configuradas como primeira grande revolução industrial.

Após o início Inglês, a produção industrial passou por um processo de descentralização pela Europa, com destaque para a Alemanha, França e Itália, e para o leste dos Estados Unidos.

Posteriormente, durante a segunda metade do século XIX, a partir de 1860, com o surgimento da Segunda Revolução Industrial ocorreram mudanças na indústria. Este período foi marcado pelo uso de aço, energia elétrica e produtos químicos. Destacaram neste período a Alemanha e os Estados Unidos, que juntamente com a França e a Inglaterra configuraram as potências industriais do período.

No século XX os primeiros dispositivos de controle para a indústria surgiram, dando início ao processo de controlar e automatizar linhas industriais. Na década de 1940, com o início da utilização de válvulas pneumáticas para controle e automação da indústria, retirou-se a necessidade de intervenção humana (operador) para abertura ou fechamento de válvulas de forma manual.

As válvulas permitiram a redução no tempo de monitoramento do processo. Este tipo de controle, porém, apresentava aspectos que necessitavam de melhorias. Os pontos críticos eram vazamentos ocasionados por trincas ou erosão, podendo resultar em falhas ou parada da produção. Outros pontos negativos eram o grande espaço necessário para sua implementação e conhecimentos relativamente complexos para implementação e reparos.

Após a segunda guerra mundial, com o avanço da eletrônica, foram desenvolvidos componentes eletrônicos para a substituição dos elementos pneumáticos, os relés.

Porém a necessidade de grandes modificações elétricas e mecânicas na linha de montagem, para alterar a lógica de controle da máquina, motivou o desenvolvimento do PLC (*Programmable Logical Controller*, ou Controlador Lógico Programável).

O PLC tem como sua origem a indústria automobilística. Foi desenvolvido na General Motors em 1968, sob o comando do engenheiro Richard Morley.

As principais necessidades atendidas pelo PLC são: Facilidade de programação e manutenção, alta confiabilidade, pequena dimensão, baixo custo e modularidade.

Inicialmente, sua programação era realizada pela linguagem *Assembly*, sendo necessário conhecimento qualificado para sua programação. Porém em gerações posteriores foi desenvolvida a programação em *Ladder*, que possibilita a programação simplificada através de um computador pessoal.

Com a evolução da automação industrial, ocorreu também a evolução de componentes de automação com funcionalidades mais específicas. É o caso do CNC (*Computer Numeric Controller*, ou Controle Numérico Computadorizado).

A evolução do CNC iniciou-se com o NC (*Numeric Controller*, ou Controle Numérico), desenvolvido pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), utilizando fitas perfuradas para o armazenamento do programa.

Aplicando tecnologias desenvolvidas para a automação industrial, como o PLC e o CNC, pode-se melhorar e aperfeiçoar processos atuais para atingir maior produção, diminuindo o custo e tempo de produção.

O desenvolvimento das tecnologias de automação industrial ocorreu principalmente na indústria automobilística. Em consequência, indústrias relacionadas à fabricação de veículos começaram a receber novas tecnologias que permitiram aperfeiçoar sua produção, a fim de acompanhar o aumento na produção de veículos.

A produção de pneus é um dos processos influenciados pela automação automobilística. Seus processos receberam as mesmas tecnologias desenvolvidas para os carros, adaptando-as para esta aplicação específica.

Posteriormente, este processo passou a atingir a reciclagem dos componentes de veículos, como os pneus. Visando a redução de gastos e o aumento da vida útil do pneu, fabricantes iniciaram o processo de reciclagem. Este consiste da raspagem da borracha remanescente em excesso do pneu e aplicação de uma nova camada de borracha.

O processo de reciclagem de pneus é essencial para a conservação do meio ambiente, possibilitando a maior vida útil de pneus, diminuindo, portanto, a quantidade de pneus descartados no meio ambiente. Este reaproveitamento é importante uma vez que o tempo de decomposição de pneu é tão elevado que é considerado como indeterminado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, quantidade e tecnologia).

A reciclagem dos pneus iniciou-se como um processo manual. Este possui um tempo de realização elevado e pode gerar riscos à saúde e integridade do operário, assim como uma menor produção e eficiência, com possível discrepância do resultado entre unidades

produzidas. Portanto, os processos de reciclagem de pneus recebem investimentos para a sua automação, como por exemplo, no processo de raspagem.

Com a implementação do CNC e PLC no equipamento, pode-se atingir maiores níveis de produção. Este aumento de produção gera um retorno do investimento na automação em curto prazo. Ou seja, o capital investido para a automatização de máquinas retorna ao investidor, com o aumento da produção.

1.1 Estrutura da Monografia

Este capítulo introduziu-se e justificou-se a automação de máquinas para produção industrial.

O capítulo 2 descreve a composição de pneus, detalhando os seus componentes. O processo de reciclagem é descrito, abordando também as possibilidades de automação na máquina de raspagem da banda de rodagem dos pneus para o processo de reciclagem.

O capítulo 3 detalha os principais componentes de automação utilizados para a automatização da máquina raspadora de pneus. Os principais componentes descritos incluem inversores de frequência, CNC (*Computer Numeric Control*), PLC (*Programmable Logic Controller*), sistema de entradas e saídas, servomotores e *encoders*. O capítulo também descreve os protocolos de comunicação utilizados no projeto.

O capítulo 4 apresenta a configuração da montagem da máquina e utilização dos componentes de automação. Detalha também as configurações necessárias realizadas no CNC otimizar os eixos da máquina e adaptações específicas da aplicação com o sincronismo de eixos.

O capítulo 5 detalha a programação e o desenvolvimento realizado no CNC e no PLC para desenvolver a aplicação da raspadora de pneus.

O capítulo 6 analisa os resultados da automação da raspadora de pneus, verificando a sua viabilidade de implementação através da análise de ganhos na produção e tempo necessário para recuperar o investimento financeiro para a automação da máquina.

As considerações finais e conclusões do projeto de automação da máquina raspadora de pneus encontram-se no capítulo 7.

2 COMPOSIÇÃO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PNEUS

A nomenclatura pneu vem da forma abreviada de pneumático, no sentido das coberturas de borracha com que calçam as rodas dos automóveis e outras viaturas. Ou seja, pneus são um componente de veículos automotivos em forma de anel que reveste as rodas metálicas, permitindo maior desempenho, proporcionando tração com o solo, e proteção para a roda metálica.

2.1 Composição dos pneus

Os pneus modernos são constituídos de borracha sintética, borracha natural, tecidos metálicos, carbono negro e outros compostos químicos.

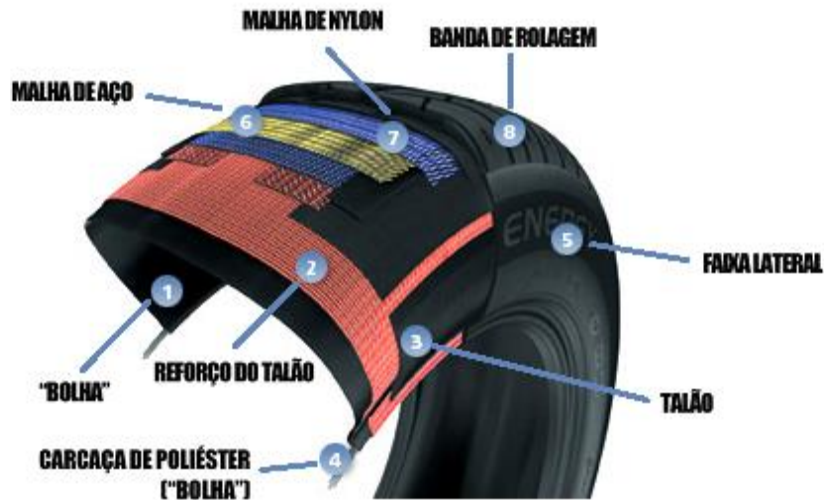
A carcaça do pneu é composta da banda de rodagem, que é a parte em contato com a superfície da estrada, sendo composta de borracha para proporcionar a tração com o solo. A banda possui os chamados *grooves*, ou ranhuras, que possuem como função escoar a água, evitando que ocorra aquaplanagem.

Interno a banda de rodagem, o pneu possui o cinturão de Nylon e o cinturão de aço. Estas malhas possuem a função de proteger o tambor interno do pneu, isolando-o da banda de rodagem e mantendo o formato adequado.

A parte mais interior do pneu é o tambor, que é revestido por uma tela de borracha sintética. Tem como função dar a forma correta ao pneu, mantendo-se na pressão correta na chamada “bolha”. Sua camada de borracha sintética separa o tambor do cinturão metálico.

A Figura 2.1 ilustra as camadas presentes na composição de um pneu (MICHELIN, 2015).

Figura 2.1 – Composição de pneu.



Fonte: Adaptado de (MICHELIN, 2015).

2.2 Reciclagem de pneus

Ao final da vida útil do pneu, alguns de seus componentes podem ser reaproveitados. Isto é, o tambor e as malhas metálicas e de nylon do pneu ainda possuem boa conservação. Portanto, o processo de reciclagem destes componentes torna-se uma operação viável e desejável, resultando em um menor consumo de matérias-primas e uma menor quantidade de material e produtos descartados pelo fim de sua vida útil.

O processo mais aceito e utilizado para pneus usados é a recapagem. Este processo consiste na remoção da banda de rodagem remanescente, mantendo somente os componentes que possuem uma maior vida útil: As malhas de aço e nylon, e o tambor.

A reciclagem através do processo de recapagem possibilita que o novo pneu esteja próprio para uso, com um custo aproximado de 35% de um pneu novo.

O processo de reciclagem possui os seguintes procedimentos para sua realização quando a raspagem for realizada de forma manual:

- Triagem: Análise das condições do pneu, verificando a possibilidade de recapagem.
- Limpeza: Consiste em retirar sujeira ou impurezas que podem influenciar o processo. Este processo possui duração média de 10 minutos.
- Raspagem: Retirada da banda de rodagem remanescente do pneu. Quando realizado de forma manual, o processo de raspagem dura cerca de 5 minutos.

- Escareação: Conserto de imperfeições no pneu após o processo de raspagem. O operário leva, em média, 15 minutos para detectar e corrigir imperfeições no pneu raspado.
- Aplicação de cola para fixação. Este processo consome 5 minutos para sua realização.
- Aplicação da banda de rodagem: A nova banda é fixada no pneu. A duração deste procedimento é de 10 minutos.
- Vulcanização: Pneu é envelopado gerando vácuo. Este pneu é colocado na autoclave, unindo a banda aplicada à carcaça. O período para este processo é de três horas.

O processo completo de reciclagem, quando realizado com raspagem manual, consiste de um tempo total de 45 minutos para sua produção (sem considerar a triagem), sendo posteriormente submetido à vulcanização. Os tempos necessários para o processo completo de reciclagem são períodos médios observados pelo fabricante de pneus.

Devido ao fato da autoclave possuir capacidade de vulcanizar mais de um pneu ao mesmo tempo, este processo não é considerado no tempo de produção a ser otimizado.

No processo de reciclagem, pneus prontos para a vulcanização são armazenados, aguardando a quantidade certa produzida para iniciarem o processo na autoclave. O tempo para vulcanizar o processo não pode ser alterado.

A raspagem da banda de rodagem, quando realizada de forma manual, ocorre com o seguinte procedimento:

- O operário fixa o pneu em um eixo rotativo. Este é rotacionado em uma velocidade específica.
- A ferramenta de corte é posicionada no pneu para a raspagem, desgastando e removendo a banda, até atingir os valores desejados.
- Deve ser verificada a circunferência do pneu através de um gabarito ou através de medições em diferentes pontos da circunferência com sensor magnético.
- Caso o pneu não possua o padrão desejado, o operário deve repetir o procedimento para atingir o valor de banda disponível desejado.

O processo de raspagem consiste de um tempo pequeno para sua realização, porém quando executado com eficiência e confiabilidade (caso da máquina automatizada), o

processo de escareação não é necessário, reduzindo, portanto consideravelmente o tempo total do processo.

Ao final do processo de raspagem, são analisadas a rugosidade da borracha e as dimensões de raio e da superfície do pneu. Estas verificações são necessárias para garantir os padrões de qualidade e segurança especificados pela VDMA (*Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau* ou Associação de Indústria e Máquinas Alemã e construção de plantas), em sua divisão de Associação de Maquinário de Borracha (VDMA, 2015).

Este processo apresenta sérios riscos à saúde e segurança do operário. Durante a raspagem, detritos de borracha se soltam do pneu em rotação de alta velocidade, podendo ferir o operário. Além disso, as lâminas utilizadas no processo podem causar acidentes quando não manipuladas de forma correta e segura.

As questões de segurança e possibilidade de aperfeiçoamento do processo, justificam o investimento para a automação da máquina da raspagem da banda do pneu. A automação pode ser implementada com um investimento adequado, sendo realizada com componentes altamente disponíveis e difundidos no mercado. Ao final da automação do equipamento, é observado um ganho de produtividade e segurança na raspagem de pneus.

A Figura 2.2 mostra operadores realizando a raspagem manual da banda de rodagem do pneu (RG PNEUS, 2015).

Figura 2.2 – Processo de raspagem manual.



Fonte: (RG PNEUS, 2015).

Durante o processo de raspagem, o operador deve atentar para a preservação das malhas de nylon e aço. São utilizados sensores para a detecção da quantidade disponível de borracha na banda de rodagem do pneu.

2.3 Automação da raspadora de pneus

Analisando as necessidades e o processo necessário para a raspagem da banda de rodagem do pneu usado, pode-se definir os equipamentos e o projeto para a automação.

O controle da máquina é realizado por um PLC Simatic S7-300 da Siemens (SIEMENS, 2011).

Juntamente ao PLC é utilizado um CNC Sinumerik 840D sl (SIEMENS, 2011) que possui como função o controle de posição dos eixos da máquina, assim como realizar cálculos necessários para que a raspagem ocorra com boa exatidão.

A vantagem da utilização do CNC Sinumerik 840D sl é que este já possui um PLC Simatic S7-300 integrado, reduzindo, portanto, a necessidade de compra de dois componentes separados. Este fato também possibilita a redução do espaço necessário para colocação dos componentes de controle (PLC e CNC) no painel elétrico da máquina.

É necessário o uso de sensores magnéticos que realizam a leitura da espessura de borracha na banda de rodagem até que se atinja a malha de aço. O valor da espessura é importante para que não ocorra uma raspagem excessiva pelo equipamento, ou que não seja raspada a espessura necessária. Estes sensores são conectados ao sistema de entradas e saídas ET 200S (SIEMENS, 2011).

A utilização do sistema de entradas e saídas ET 200S possibilita o recebimento dos dados do sensor magnético com tecnologia *Safety*, isto é, possuindo redundância e confirmação de recebimento dos valores corretos no PLC e CNC.

O acionamento dos eixos e motores será realizado por inversores de frequência Sinamics S120 (SIEMENS, 2011).

Os inversores são responsáveis pelo controle de velocidade dos eixos.

A raspagem do pneu usado na máquina ocorre através do método radial. Neste método, o pneu a ser raspado encontra-se na posição radial, com ferramentas de corte (lâminas) posicionadas na lateral do pneu.

Neste processo, o pneu é rotacionado por um eixo acoplado no seu interior. Isto ocorre de forma análoga ao que ocorre com o pneu acoplado a um eixo do veículo.

A Figura 2.3 mostra a raspadora de pneus deste projeto durante sua montagem.

Figura 2.3 – Protótipo da raspadora durante montagem.



Fonte: (AUTOR, 2015).

Na Figura 2.3 observa-se o engate de fixação no centro da máquina. Neste local o pneu será fixado e rotacionado. As ferramentas de corte são posicionadas nas extremidades laterais da máquina.

Para a realização da raspagem, as ferramentas de corte são rotacionadas em uma velocidade superior à rotação do pneu. Este método possibilita a produção em larga escala devido a sua alta velocidade de rotação e conseqüentemente de raspagem.

Pelo motivo de utilizar altas velocidades de rotação, ocorre o aquecimento do pneu sendo raspado. Por este fato, este processo de raspagem é popularmente chamado de “raspagem à quente”.

Em conseqüência da alta velocidade de raspagem, a exatidão possibilitada pelo CNC é limitada. Porém, devido ao fato do pneu receber uma nova banda de rodagem posteriormente, a perda de qualidade e exatidão deste processo não é crítica. Pode-se, portanto, utilizar este processo sem perdas na qualidade final do pneu reciclado.

Ao final da automação da máquina, o processo de raspagem do pneu consiste dos procedimentos descritos:

- O operário fixa o pneu em um eixo rotativo.
- Os valores do pneu são inseridos na tela da máquina ou carregados de valores pré-programados.
- O usuário inicia o ciclo de raspagem da máquina. Esta realiza as medições das espessuras da banda de rodagem com sensores magnéticos e inicia o processo de raspagem.

Além de aumentar a velocidade do processo, o pneu raspado com a máquina automatizada não necessita de escareação para corrigir possíveis danos e erros provenientes da raspagem manual, economizando, portanto, tempo na produção do pneu reciclado.

3 COMPONENTES DE CONTROLE E ACIONAMENTO

A raspadora de pneus possui:

- Inversores de frequência para controle de velocidade dos motores.
- CNC para controle de posição dos eixos, cálculos necessários para a realização da raspagem e alimentação de informações aos inversores de frequência.
- PLC integrado ao CNC que realiza o processamento e o gerenciamento das funções e das entradas e saídas do sistema.
- Interface gráfica para operação do sistema e seleção de receitas de raspagem.
- Sistema de entradas e saídas com *Safety* para recebimento de sensores externos na máquina de forma confiável

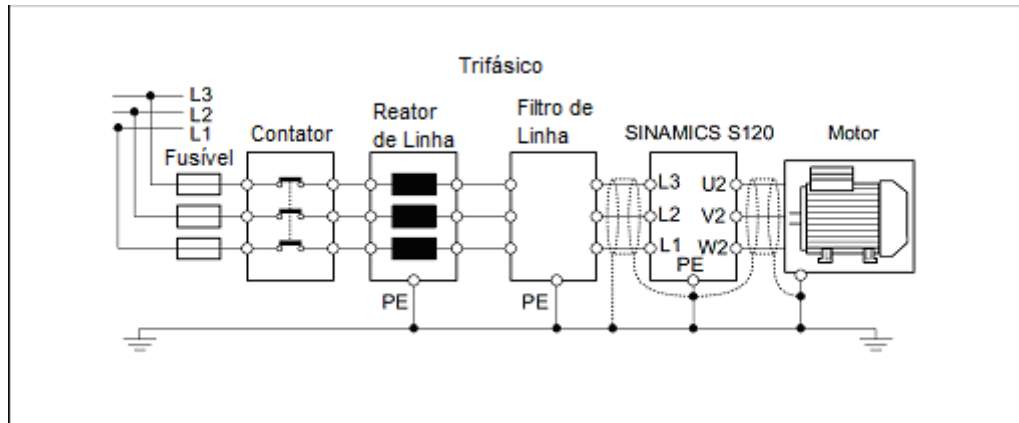
As receitas de raspagem correspondem à um grupo de parâmetros para a raspagem de um determinado tipo de pneu. Ou seja, para um tipo comumente raspado de pneus, é salvo os valores necessários para o procedimento.

3.1 Inversores de frequência

Os inversores de frequência, também conhecidos como *drives* ou acionamentos elétricos, possuem como função controlar a velocidade de giro do eixo do motor elétrico através da variação da frequência na sua saída. Isso é realizado através da retificação de uma tensão de entrada e chaveamento da tensão para a saída na frequência desejada.

O inversor de frequência possui suas conexões para entrada e saída conforme mostra a Figura 3.1 (SIEMENS, 2014):

Figura 3.1 – Diagrama de ligações de entrada e saída no inversor de frequência

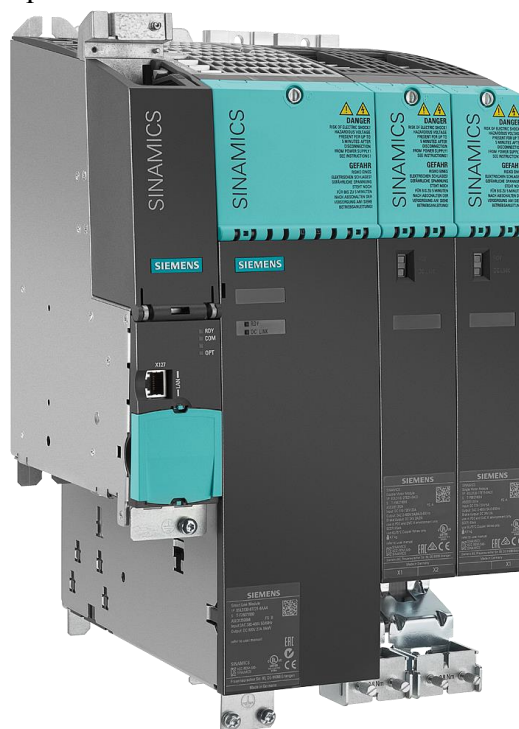


Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2014).

Na Figura 3.1, observa-se que o inversor de frequência contém fusíveis na entrada da alimentação trifásica da linha, contatores. Também pode conter reatores de linha e filtros de linha, que por sua vez levam a entrada do inversor de frequência.

O inversor de frequência utilizado no projeto é exibido na Figura 3.2 (SIEMENS, 2015):

Figura 3.2 – Inversor de frequência SINAMICS S120 da Siemens



Fonte: (SIEMENS, 2015).

Pode-se observar na Figura 3.2, que o inversor de frequência é constituído de forma modular, contendo, da esquerda para a direita:

- *Control Unit* CU (unidade de controle), que possui como função a comunicação das entradas e saídas do sistema com o CNC e com os demais componentes do inversor de frequência, comunicação através de rede PROFINET (PROFIBUS & PROFINET INTERNATIONAL, 2015);
- *Line Module* LM (módulo de linha), que possui como função a retificação de sua alimentação trifásica para o chamando *Link DC*, um barramento com a tensão contínua, eliminando a necessidade de capacitor na saída do retificador para alimentação da tensão nos componentes seguintes. A retificação é feita através de IGBT (*insulated gate bipolar transistor*, ou transistor bipolar de porta isolada) e pontes de diodo que convertem a tensão trifásica de entrada para monofásica e contínua retificada.
- *Motors Modules* (módulos de motor), conhecidos como “MoMo”, que recebendo a tensão do barramento de tensão, alimentam os motores com tensão chaveada na frequência adequada à velocidade desejada no motor.

3.2 Controle Numérico Computadorizado - CNC

O Controle Numérico Computadorizado (*Computer Numeric Control*) é um controlador que permite o controle numérico de eixos para usinagem utilizando comandos em linguagem amplamente difundida na usinagem industrial, o código G (ROMI, 2015).

Desenvolvido como uma evolução do NC (controle numérico ou *numeric control*), o CNC possui um processador para enviar comandos aos inversores de frequência controlados por ele. Estes comandos possuem exatidão muito superior a comandos manuais ou inversores de frequência sozinhos. A exatidão pode atingir valores de erro menores que $1\ \mu\text{m}$ ($10^{-6}\ \text{m}$).

Apesar de ser utilizado em larga escala para controle de retíficas, tornos e fresas, o CNC não é comumente utilizado em raspadoras de pneus.

Porém, o CNC possui funções necessárias para a raspagem de pneus já pré-programadas, como sincronismo de eixos, transformação de sistemas de coordenadas, incrementos pré-programados para repetição de raspagens, possibilidade de produção em série, aproveitando software desenvolvido em protótipo.

Estas características possibilitam a diminuição do custo relacionado ao tempo de desenvolvimento da aplicação, quando comparado com outros tipos de controle.

Para este sistema foi utilizado o CNC da Siemens Sinumerik 840D sl. Este controle numérico computadorizado possui possibilidade de controlar até 93 eixos de movimento ou fuso (*Spindle*) e 30 canais de usinagem.

O comando numérico é composto da NCU, “*Numerical Control Unit*” (unidade de controle numérico) que realiza o controle e operações do CNC; e o MCP, “*Machine Control Panel*” (painel de controle de máquina), que possui botões comumente utilizados no CNC, como início de ciclo, seleção entre modos automático e manual, parada de emergência, entre outros. Estes comandos já são programados de fábrica no PLC integrado do 840D sl.

A Figura 3.3 abaixo mostra o conjunto do MCP do Sinumerik 840D sl com sua tela de operações e comandos (SIEMENS, 2015).

Figura 3.3 – MCP e painel de operações do Sinumerik 840D sl da Siemens



Fonte: (SIEMENS, 2015).

A Figura 3.4 mostra a NCU do Sinumerik 840D sl utilizado para este sistema (SIEMENS, 2015):

Figura 3.4 – NCU do Sinumerik 840D sl da Siemens



Fonte: (SIEMENS, 2015).

Utilizando inversores de frequência Sinamics S120 e o CNC Sinumerik 840D sl pode-se configurar o motor a ser utilizado em cada eixo através dos dados de placa do motor ou por cabo DRIVE-CLIQ, que obtém os dados do motor automaticamente ao conectá-lo com o inversor de frequência.

A vantagem deve-se ao fato de possibilitar rápida configuração para linha de produção com motores de variados fabricantes, por exemplo: SEW, Siemens e WEG, possibilitando que estes sejam configurados rapidamente pelo fabricante através do DRIVE-CLIQ.

A utilização do controle numérico 840D sl possui a vantagem de possuir um PLC Siemens S7-300 integrado, possibilitando assim a redução de equipamentos necessários instalados no painel da máquina.

As funções de segurança *Safety* do CNC são outro componente essencial neste projeto. O CNC executa parte do processamento redundante que configura as funções de segurança.

3.3 Controlador Lógico Programável - PLC

O Controlador Lógico Programável, ou *Programmable Logic Controller* (PLC), é um microcontrolador especializado para controle de componentes do sistema, é responsável, neste

sistema, pelo controle dos cálculos e comandos que o CNC executa, dados inseridos e exibidos na HMI (*Human Machine Interface*, ou interface homem máquina), entradas e saídas dos periféricos e parte do processamento redundante das funções de segurança *Safety* do sistema da raspadora.

Para o sistema da raspadora de pneus, especificamente, é utilizado o PLC integrado ao CNC, o Simatic S7-300 da Siemens. O controlador S7-300 é mostrado na Figura 3.5 (SIEMENS, 2015):

Figura 3.5 – PLC S7-300 da Siemens



Fonte: (SIEMENS, 2015).

O PLC possui a vantagem de ser programado em linguagens amplamente difundidas como *Ladder*, *Function Blocks* (FBD) ou *Statement List* (STL). Para o caso deste sistema, foi utilizada a programação em STL devido ao fato de ser comumente utilizado para aplicações que utilizam CNC, e o fato do Sinumerik 840D si possuir suas aplicações padrões desenvolvidas em STL, possuindo assim uma maior facilidade para manutenção realizada por outras pessoas com conhecimentos em CNC.

3.4 Interface Homem Máquina - HMI

Interface Homem Máquina, ou *Human Machine Interface*, possuem como função transmitir informações ao usuário, como posição dos eixos da máquina, distância restante do comando de movimento, informações referentes ao motor e inversores de frequência como tensão, temperatura e corrente.

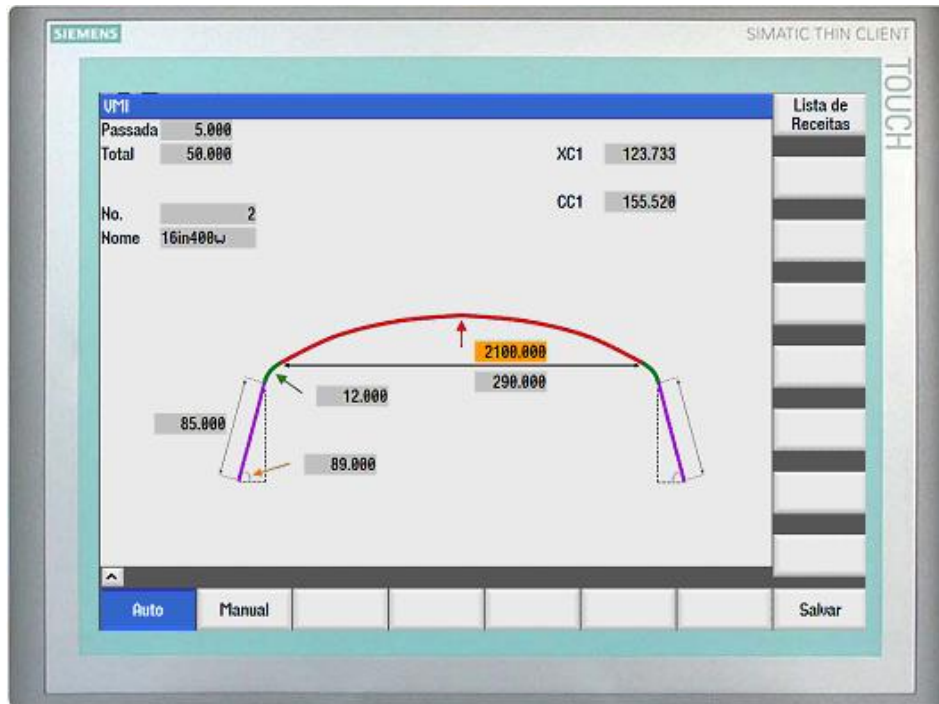
Também tem a função de receber informações do usuário através de telas criadas no projeto, chamadas Telas *Custom* (personalizadas), onde é possível inserir valores referentes aos raios do pneu, comprimentos e ângulos (definidos como uma receita de raspagem), possibilitando que sejam realizados os cálculos para a execução do programa em código G, além de salvar as receitas prontas com parâmetros de pneus.

Outras funções da HMI são exibir informações para manutenção, como falhas na máquina, e funções para o comissionamento.

A Figura 3.6, mostra a HMI utilizada neste projeto, a *Thin Client* de 19 polegadas (SIEMENS, 2015).

Esta é conectada ao CNC, que com seu PLC S7-300 integrado gerencia seu funcionamento de telas padrões Siemens e telas personalizadas desenvolvidas para o projeto em sua linguagem própria, “.COM”, possuindo também funções de *Touch Screen* (tela com comandos sensíveis ao toque).

Figura 3.6 – *Thin Client*, HMI da Siemens



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2015).

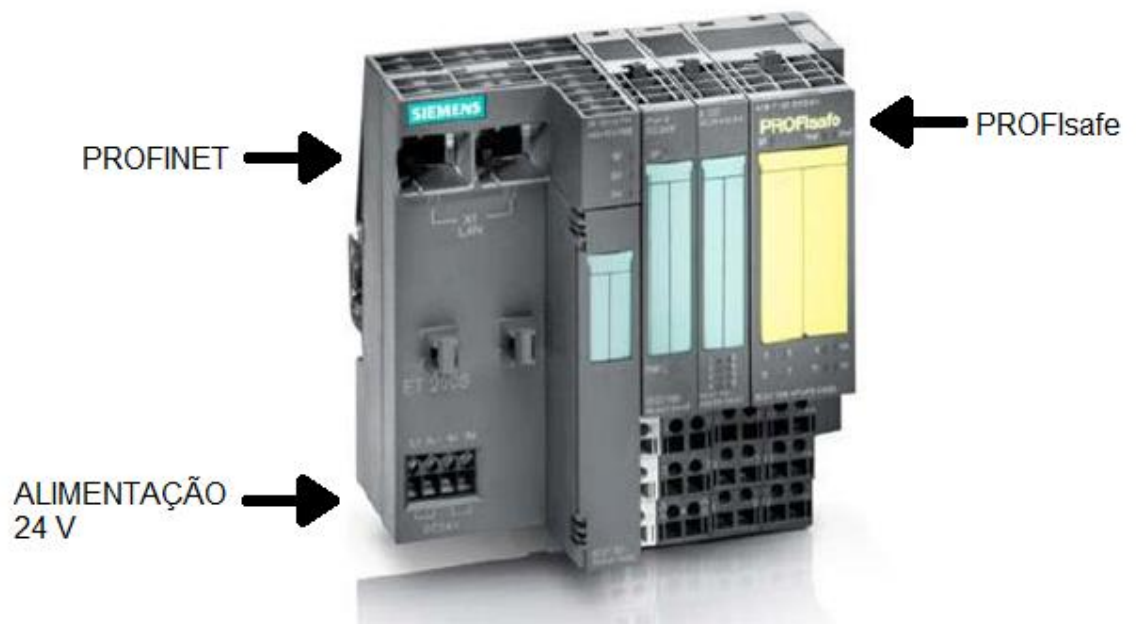
3.5 Sistema de entradas e saídas

O Sistema de entradas e saídas, também conhecido como sistema de *inputs* e *outputs*, é o componente responsável pela expansão de entradas e saídas do CNC com PLC integrado, possibilitando o controle de um número maior de periféricos no sistema, como sensores de fim de curso, botão de parada de emergência, sensores magnéticos e outros sensores que podem ser utilizados.

Para este sistema é utilizado o ET 200S da Siemens, um sistema expansível através de módulos, possuindo entradas PROFIsafe (protocolo de comunicação com redundância de processamento pelo CNC e pelo PLC). Além de sua conexão ser segura contra falhas, este possibilita a utilização do conceito *Safety*, garantidor de maior segurança e confiabilidade ao operador da máquina contra falhas e/ou acidentes.

A Figura 3.7, mostra o ET 200S da Siemens utilizado neste projeto. É possível visualizar na imagem, além de sua conexão em PROFINET para o PLC (à esquerda), módulos de entrada e saída com *Safety* (PROFIsafe) e módulos de entradas e saídas comuns (SIEMENS, 2015).

Figura 3.7 – ET 200S, sistema de entradas e saídas da Siemens



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2015).

3.6 Servomotores e *encoders*

O sistema descrito da máquina possui PLC, CNC, drives e HMI. A operação possui a finalidade do controle do movimento de eixos, sejam estes lineares ou rotativos. Estes, por sua vez, são movimentados por servomotores.

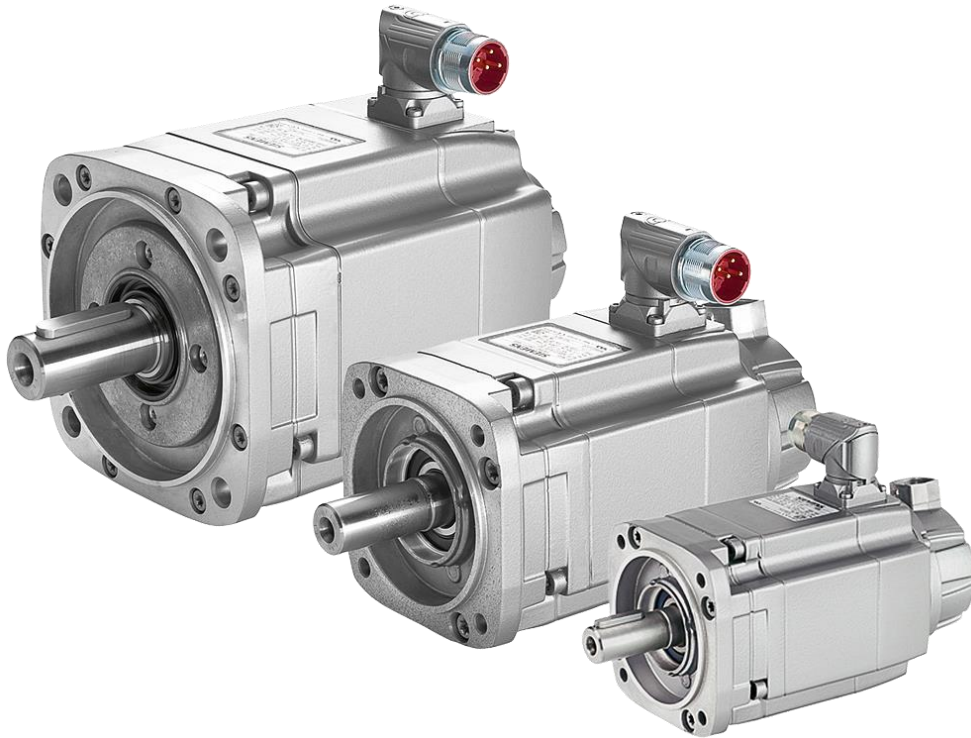
Os servomotores são máquinas síncronas operadas por comandos de controle de posição, originados do CNC, e controle de velocidade, originados dos inversores de frequência.

Para o fechamento da malha de controle dos servomotores do sistema (eixos), tem-se a utilização de *encoders*, acoplados aos motores. Estes possuem como função a leitura da velocidade e posição do eixo, enviando estes dados novamente (*feedback*) aos inversores de frequência e ao CNC, respectivamente, para que os comandos possam analisar o erro e corrigi-lo, mantendo assim a diferença entre o valor de *setpoint* e o valor real dentro de um intervalo pré-determinado de erro tolerado.

A Figura 3.8, mostra servomotores da linha 1FK7 da Siemens (SIEMENS, 2015).

Na imagem, é possível visualizar as saídas para os *encoders* que realimentarão a malha. Neste sistema são utilizados servomotores dos fabricantes Siemens, SEW e WEG.

Figura 3.8 – Servomotores da linha 1FK7 da Siemens



Fonte: (SIEMENS, 2015).

3.7 Comunicação PROFINET

De acordo com a PROFIBUS & PROFINET *International*, a comunicação PROFINET é o padrão de comunicação para automação baseada no padrão Ethernet de escritórios e departamentos de Tecnologia da Informação, de acordo com a norma IEEE 802. Somente incluindo acréscimos específicos ao padrão Ethernet para atingir condições mais rústicas encontradas em aplicações industriais.

Sua estrutura possui componentes de origem TCP/IP, apresentando como vantagens a possibilidade de rede única no sistema, tanto para comunicação no nível de máquina, quanto para comunicação com dispositivos de gerenciamento e comissionamento (computadores pessoais).

O PROFINET transmite informações de configuração, dados de processamento, alarmes, diagnósticos, estado de unidades do sistema e dados de parametrização. Sua transmissão ocorre em tempo real, de forma bidirecional.

O fato de ser um protocolo aberto e altamente difundido no mercado mundial, além de ser totalmente compatível com Ethernet, torna o PROFINET uma escolha segura para o

desenvolvimento e implementação do projeto, além de possibilitar fácil manutenção e um futuro “*retrofit*” (reforma) da máquina.

A Figura 3.9 mostra um cabo para comunicação PROFINET utilizado no sistema (SIEMENS, 2015).

Figura 3.9 – Cabos e conectores PROFINET



Fonte: (SIEMENS, 2015).

3.8 Comunicação PROFIBUS

De acordo com PROFIBUS & PROFINET *International*, a comunicação PROFIBUS é o protocolo de comunicação em *fieldbus* mais bem-sucedido do mundo, possuindo mais de 50,9 milhões de equipamentos de base instalada no fim de 2014, em mais de 9 milhões de processos industriais.

O PROFIBUS é um protocolo de automação baseado no *fieldbus*. Possui um único cabo do tipo *bus*, conectando controladores ou sistemas de controle com descentralização de dispositivos de campo (sensores e atuadores). A sua consistência é possível por suportar soluções de *fieldbus* para ambos níveis fabris e automação de processos, assim como controle de posição (*motion control*) e tarefas relacionadas à *Safety* (segurança, ou redundância).

Apesar de utilizar a comunicação em PROFINET Internamente para realizar a comunicação entre o CNC e os inversores de frequência, o Sinumerik 840D sl utiliza o protocolo de comunicação PROFIBUS.

O protocolo PROFIBUS é baseado no modelo OSI (“*Open Systems Interconnection*”) possuindo sua comunicação realizada por pacotes (*frames*) através de dois cabos, em meio blindado. Possui um arranjo de resistores nos terminais “ativos”, para o envio e recebimento de informações.

O PROFIBUS utiliza como meios físicos de comunicação, sistemas RS 485 e em alguns casos, fibra ótica.

O cabo PROFIBUS e seus conectores são mostrados na Figura 3.10 (SIEMENS, 2015).

Neste projeto a comunicação para todas conexões externas é utilizada a comunicação em rede PROFINET, porém a comunicação interna entre CNC e PLC é realizada através de comunicação em rede PROFIBUS.

Figura 3.10 – Cabos e conectores PROFIBUS



Fonte: (SIEMENS, 2015).

4 CONFIGURAÇÃO DO PROJETO

O projeto é desenvolvido para uma empresa multinacional fabricante de pneus, atuante em mais de 170 países, empregando mais de 113.000 funcionários. A empresa está realizando a automatização de suas máquinas utilizadas na reciclagem de pneus para caminhões leves no Brasil.

O trabalho é realizado no setor de reciclagem do fabricante de pneus, que utiliza a raspagem como parte do processo para a reciclagem. A fabricação da máquina é desenvolvida em parceria com uma fabricante de máquinas europeu.

Para a realização da automação da raspadora de pneus desenvolvida neste projeto, os seguintes componentes foram utilizados:

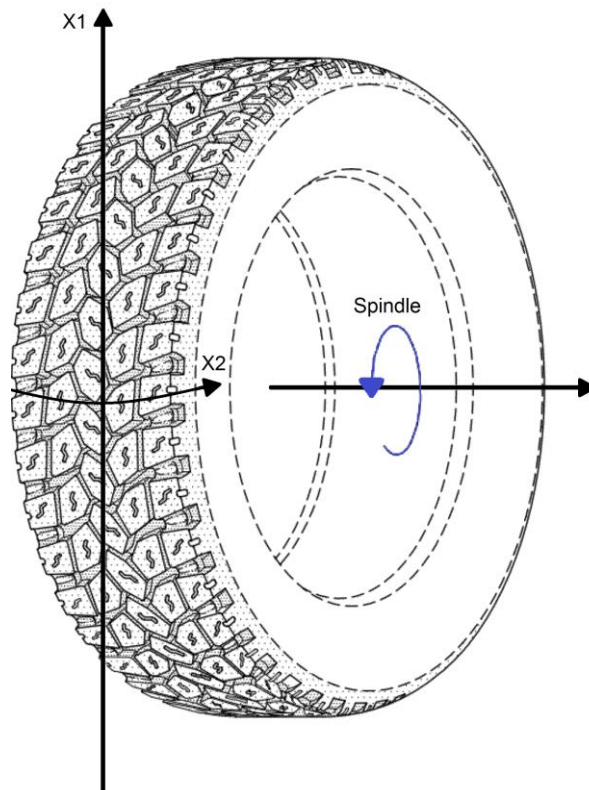
- CNC Siemens Sinumerik 840D sl
- PLC Siemens Simatic S7-300 (integrado ao Sinumerik 840D sl)
- Inversores de frequência Sinamics S120 (controlando 4 eixos e 1 *Spindle*)
- HMI Siemens Simatic Thin Client de 19 polegadas
- Sistema de entradas e saídas *Safety* Siemens Simatic ET 200S
- Motores e *encoders* Siemens Simotics da linha 1FK7
- Fonte de conversão de tensão bifásica 220 V para tensão contínua 24 V
- Sensores de fim de curso e magnéticos (espessura)

A máquina raspadora de pneus possui ferramentas de corte para a realização da raspagem dupla. Ou seja, ao programar um perfil de raspagem, a máquina realiza o mesmo procedimento nos dois lados do pneu ao mesmo tempo, possibilitando assim que o dobro de velocidade de raspagem seja obtido.

Com esta configuração duplicada, a máquina possui cinco eixos comandados pelo CNC. Em cada ferramenta de raspagem existem dois eixos: X1 e X2. Estes eixos são responsáveis pelo posicionamento da ferramenta de corte no perfil selecionado do pneu.

A Figura 4.1 mostra a configuração dos eixos na máquina. Na figura observa-se os eixos X1 e X2 e o fuso (*Spindle*) na máquina raspadora de pneus.

Figura 4.1 – Eixos da máquina raspadora de pneus



Fonte: (AUTOR, 2015).

Apesar de fisicamente estes eixos serem linear (X1) e rotativo (X2), sua programação é realizada considerando dois eixos cartesianos. Esta possibilidade deve-se à conversão realizada pelo CNC que automaticamente converte posicionamento dos comandos de eixos rotativos em eixos lineares.

Ou seja, o usuário realiza a programação em eixos cartesianos X e Y, porém o CNC realiza a conversão automaticamente para a mecânica da máquina, que possui um eixo linear e um eixo rotativo.

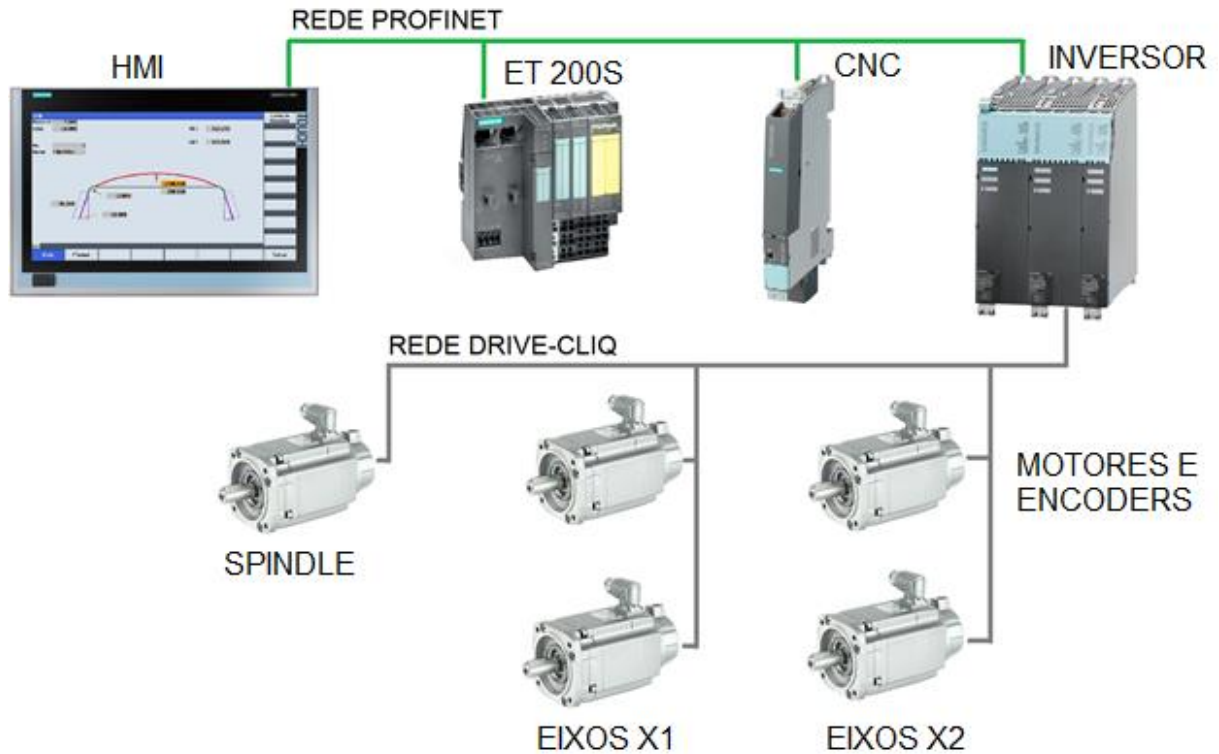
A conversão de coordenadas realizada pelo CNC configura uma facilidade para a programação e utilização do usuário. Esta é uma das vantagens de uso do Sinumerik para esta aplicação.

Os eixos X1 e X2 possuem seus correspondentes análogos no lado oposto da raspadora de pneus. Estes eixos possuem os mesmos *setpoints*, sendo controlados automaticamente pelo CNC.

O quinto eixo da máquina corresponde ao *Spindle*, ou fuso. Este eixo possui como função rotacionar o pneu a ser raspado a uma velocidade especificada. Este eixo não necessita de controle de posição, e por este motivo é tratado como *Spindle*.

A Figura 4.2 mostra a configuração dos principais equipamentos da raspadora de pneus.

Figura 4.2 – Conexões dos principais componentes do projeto



Fonte: (AUTOR, 2015).

Pode-se observar na Figura 4.2 a rede PROFINET realizando as conexões entre a HMI de 19 polegadas Simatic Thin Client, o sistema de entradas e saídas com tecnologia *Safety* de redundância na transmissão ET 200S, o CNC Sinumerik 840D sl, e os inversores de frequência Sinamics S120.

Na parte inferior da Figura 4.2, observa-se a rede DRIVE-CLIQ conectando os módulos Sinamics S120 aos servomotores da linha 1FK7 da Siemens e seus respectivos *encoders*. Os motores podem ser substituídos por outros motores similares de outros fabricantes em máquinas posteriores na produção em série. Para a utilização de outros motores, é necessário somente configurá-los automaticamente através da rede DRIVE-CLIQ ou configurá-los pelos dados de placa do motor quando a conexão não estiver disponível no motor.

Observa-se que existem dois pares destes motores que possuem funções e comandos idênticos em lados opostos da máquina raspadora. O quinto motor representa o *Spindle*, ou fuso, que possui somente controle de velocidade.

Com a definição dos componentes do projeto da máquina raspadora de pneus, é realizada a configuração do CNC e do PLC para ativar as funcionalidades desejadas destes componentes e aperfeiçoar o desempenho da máquina.

As funcionalidades do CNC são configuradas de fábrica com valores comumente utilizados em aplicações. Outras configurações relativas à otimização de eixos comandados pelo CNC, sincronismo entre eixos (*gantry*) e compensação de raios de ferramentas, devem ser configurados na máquina durante o seu desenvolvimento.

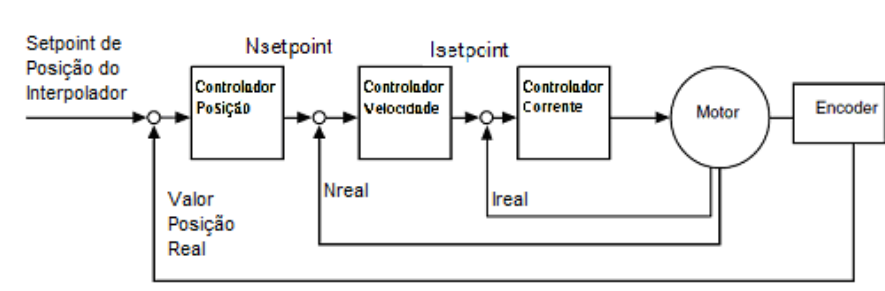
Estas otimizações e configurações são fundamentais para o funcionamento da máquina conforme a especificação da aplicação e para a utilização da capacidade máxima de automação.

A compensação do eixo das ferramentas é configurada para que o usuário da máquina não necessite realizar cálculos para compensar o raio das ferramentas de raspagem quando configurando programas em código G.

4.1 Malha de controle e ganho

O CNC é responsável pelo controle de posição dos eixos X1 e X2, assim como a sua programação para a execução do ciclo de raspagem. O Sinumerik 840D sl executa este controle de posição através da malha de controle com realimentação (*closed loop control*), conforme mostra a Figura 4.3 abaixo:

Figura 4.3 – Controle de posição do Sinumerik 840D



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2006).

Pode-se observar que o motor envia como *feedback* o valor real de corrente (*Ireal*) ao controlador de corrente, subtraindo este do *setpoint* de corrente (*Isetpoint*).

Por sua vez, a velocidade real (*Nreal*) é realimentada ao controlador de velocidade, subtraindo-o do *setpoint* de velocidade (*Nsetpoint*).

Observa-se também que o *encoder* realimenta o controlador de posição com o valor da posição real, o subtraindo do valor de *setpoint* de posição proveniente do interpolador do CNC.

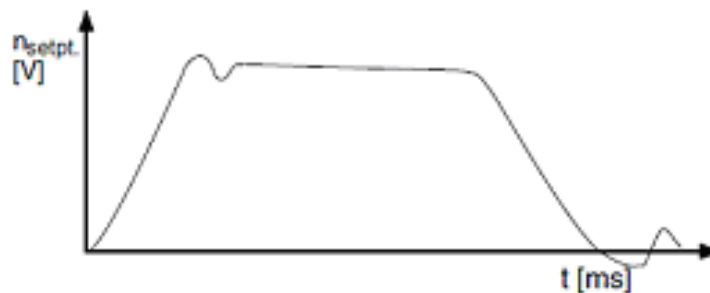
O controle de posicionamento nos eixos da máquina é realizado pelo CNC Sinumerik 840 sl, através de sua malha de controle com realimentação. Porém o controle de corrente e o controle de posição são realizados pelos inversores de frequência Sinamics S120 dos respectivos eixos.

Pode-se configurar a eficiência deste controlador através de parâmetros do CNC e dos inversores de frequência, para os controles de velocidade, posição e corrente.

O controle destas variáveis utiliza controladores PID (proporcional integral e derivativo). Os parâmetros deste controlador estão disponíveis para alteração manual pelo usuário ou por otimização automática no CNC.

Inicialmente em eixos não otimizados, encontra-se curvas de resposta a pulsos similares à Figura 4.4 abaixo.

Figura 4.4 – Curva do *setpoint* de velocidade inicial



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2006).

Na Figura 4.4 observa-se que ocorre *overshoot* (sobre valor) quando o valor da velocidade atinge o valor especificado no pulso de *setpoint*. Este é seguido de certa oscilação em seu valor por um determinado período de tempo. Ao retornar o valor de *setpoint* para zero, também se observa uma oscilação, porém, neste caso, a velocidade chega a atingir valores negativos, o que representa uma inversão no sentido de rotação do eixo. Esta inversão pode atingir a malha metálica do pneu, impossibilitando a sua reciclagem.

Em máquinas de precisão acentuada, possuindo CNC para controle, não pode ocorrer esta oscilação ou *overshoot* e principalmente a inversão do sentido de rotação. Para isto foi realizada a alteração dos valores do controlador PID para obter uma curva de resposta ao pulso mais adequada.

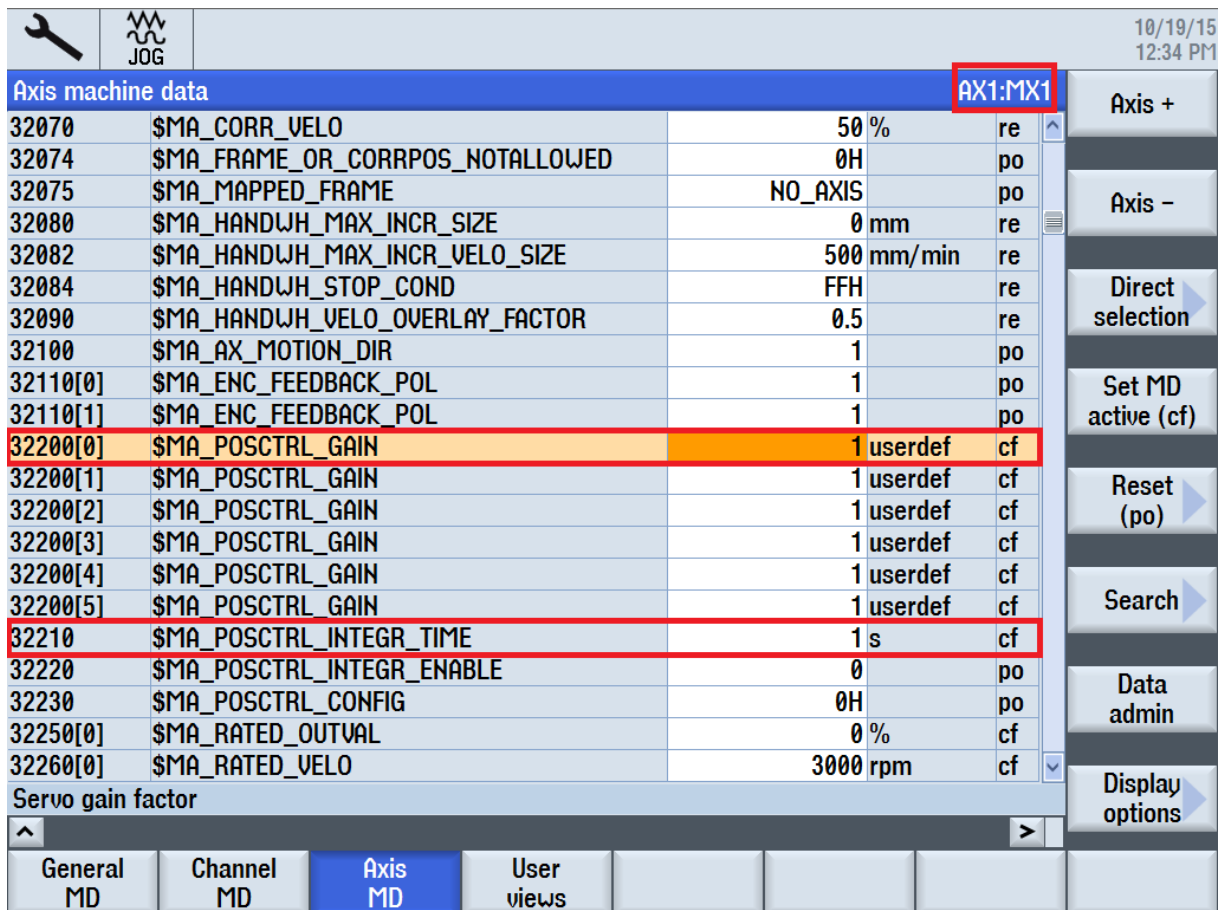
Para o caso dos eixos desta máquina, foram necessárias alterações nos valores dos ganhos das malhas de controle Kv e do tempo de integração do controlador PID.

A Figura 4.5 mostra a programação no CNC do controlador de posição através de sua tela de parâmetros. É possível visualizar os parâmetros para o ganho Kv do eixo (motor), e o tempo de integração a ser utilizado neste controlador.

Os parâmetros alterados para a otimização dos eixos são o 32.200, ganho da malha de controle; e o 32210, tempo de integração no controlador PID.

O procedimento deve ser realizado em todos os eixos da máquina. Na Figura 4.5, o eixo mostrado é o eixo X1.

Figura 4.5 – Programação do controle de posição no Sinumerik 840D sl



Axis machine data				AX1:MX1	Axis +
32070	\$MA_CORR_VELO	50 %	re		
32074	\$MA_FRAME_OR_CORRPOS_NOTALLOWED	0H	po		
32075	\$MA_MAPPED_FRAME	NO_AXIS	po		Axis -
32080	\$MA_HANDWJH_MAX_INCR_SIZE	0 mm	re		
32082	\$MA_HANDWJH_MAX_INCR_VELO_SIZE	500 mm/min	re		
32084	\$MA_HANDWJH_STOP_COND	FFH	re		Direct selection
32090	\$MA_HANDWJH_VELO_OVERLAY_FACTOR	0.5	re		
32100	\$MA_AX_MOTION_DIR	1	po		Set MD active (cf)
32110[0]	\$MA_ENC_FEEDBACK_POL	1	po		
32110[1]	\$MA_ENC_FEEDBACK_POL	1	po		
32200[0]	\$MA_POSCTRL_GAIN	1 userdef	cf		Reset (po)
32200[1]	\$MA_POSCTRL_GAIN	1 userdef	cf		
32200[2]	\$MA_POSCTRL_GAIN	1 userdef	cf		
32200[3]	\$MA_POSCTRL_GAIN	1 userdef	cf		
32200[4]	\$MA_POSCTRL_GAIN	1 userdef	cf		
32200[5]	\$MA_POSCTRL_GAIN	1 userdef	cf		Search
32210	\$MA_POSCTRL_INTEGR_TIME	1 s	cf		Data admin
32220	\$MA_POSCTRL_INTEGR_ENABLE	0	po		
32230	\$MA_POSCTRL_CONFIG	0H	po		
32250[0]	\$MA_RATED_OUTVAL	0 %	cf		Display options
32260[0]	\$MA_RATED_VELO	3000 rpm	cf		
Servo gain factor					
^				>	
General MD	Channel MD	Axis MD	User views		

Fonte: (AUTOR, 2015).

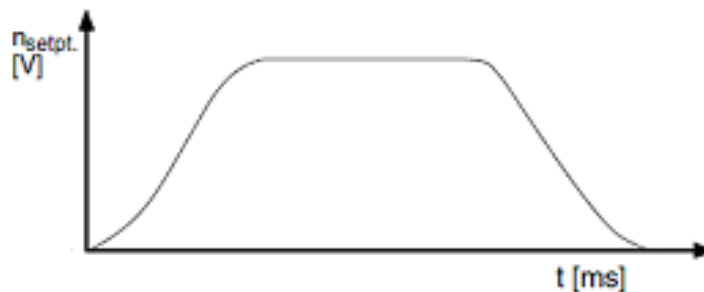
Estas alterações possibilitam acelerar a resposta, evitando oscilação em relação ao valor de *setpoint* e evitar o valor de *overshoot*.

Estes procedimentos são realizados analisando o valor sugerido pelo processo de otimização automática pelo CNC e por análises manuais da resposta da máquina com diferentes valores de ganho e tempo de integração.

Este procedimento é realizado para todas as malhas de controle presentes na máquina. Ou seja, é realizada para corrente, velocidade e posição.

A Figura 4.6 mostra a curva típica de resposta ao pulso de um sistema já otimizado, apresentando uma resposta adequada, sem “overshoot” e sem períodos de oscilação em relação ao valor do *setpoint*.

Figura 4.6 – Curva do *setpoint* de velocidade otimizado



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2006).

Deve-se atentar ao fato de que para a realização do teste de otimização, e testes manuais para aperfeiçoar as respostas dos eixos deve ser realizado sem carga e com cautela. Durante a realização dos testes, os eixos podem se movimentar. Portanto, a realização do mesmo ocorre de forma controlada, isolada e sem cargas no equipamento.

4.2 Sincronização dos eixos no CNC

Para a duplicação dos eixos X1 e X2 nos dois lados da máquina de raspagem é necessário realizar a duplicação e sincronização dos eixos no CNC, também conhecido como *Gantry*.

Após a configuração dos eixos do CNC, o sincronismo dos eixos é realizado através do *gantry*. Com este recurso cria-se uma relação de mestre e escravo entre os eixos no CNC. Ou seja, o eixo do mestre recebe o *setpoint* do programa de raspagem do CNC, enquanto que o eixo escravo recebe o mesmo comando proveniente do eixo mestre.

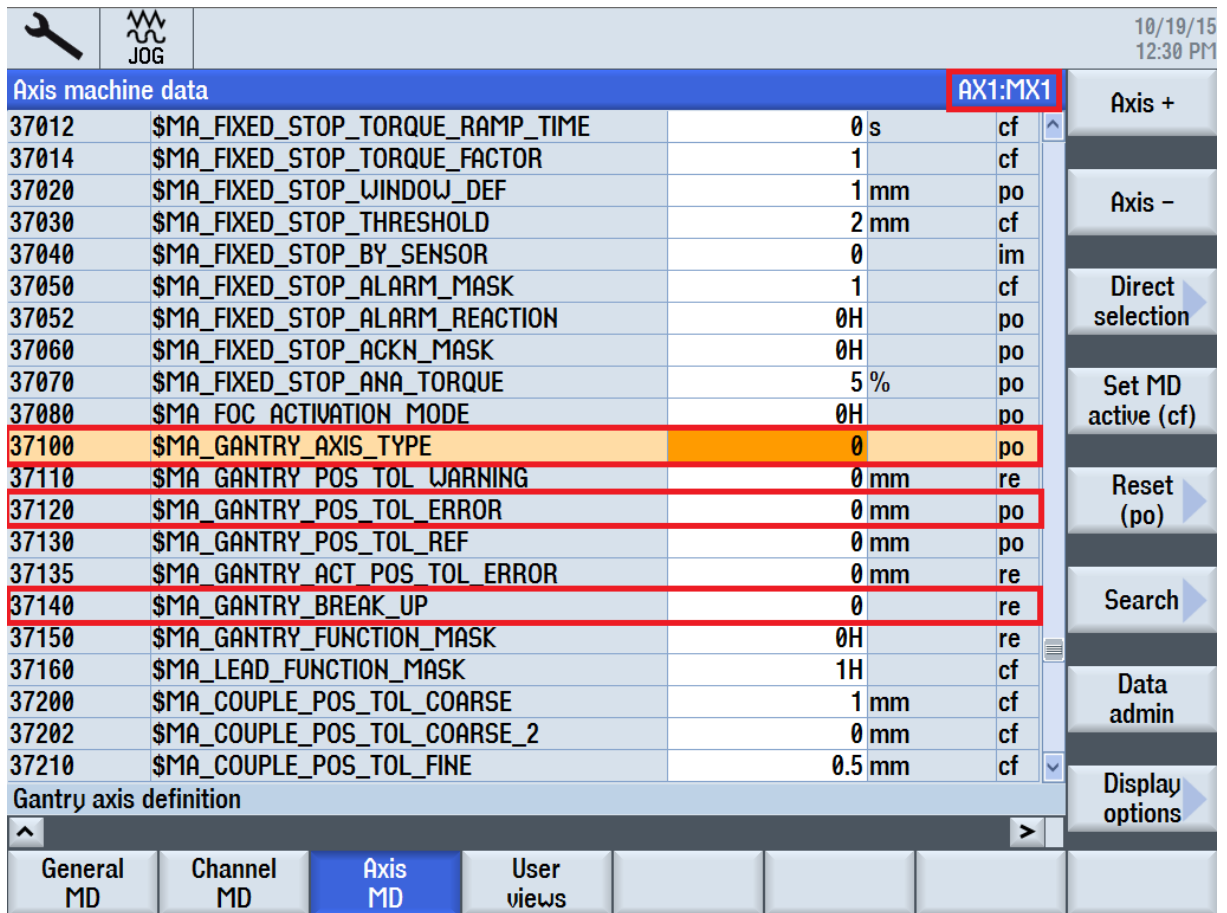
Durante a implementação do *gantry* o CNC realiza a monitoração de ambos os eixos (mestre e escravo), verificando se existe erro na diferença entre as posições e velocidades dos eixos.

Este recurso apresenta também a vantagem de já ser pré-programado no CNC Sinumerik 840D sl, possibilitando sua implementação com menor tempo de engenharia, e diminuindo consequentemente o custo de produção da máquina, que está diretamente relacionado às horas de engenharia dedicadas ao equipamento.

A Figura 4.7 mostra a programação do *gantry* na tela do Sinumerik 840D sl. Na Figura, observa-se os parâmetros que devem ser configurados para a realização do sincronismo entre os eixos. O parâmetro 37.100 define o tipo deste eixo (mestre ou escravo), enquanto que o parâmetro 37.120 define o erro permitido entre os eixos mestre e escravo. Ou seja, o valor máximo permitido para a diferença entre a posição dos eixos mestre e escravo.

O parâmetro 37.140, por sua vez, realiza a desativação do sincronismo dos eixos. Podendo ser posteriormente reativado somente por este parâmetro.

As configurações de sincronismo de eixos devem ser realizadas para ambos os eixos (mestre e escravo), configurando os valores apropriados para cada função.

Figura 4.7 – Programação *gantry* no Sinumerik 840D sl


Axis machine data				AX1:MX1
37012	\$MA_FIXED_STOP_TORQUE_RAMP_TIME	0 s	cf	
37014	\$MA_FIXED_STOP_TORQUE_FACTOR	1	cf	
37020	\$MA_FIXED_STOP_WINDOW_DEF	1 mm	po	
37030	\$MA_FIXED_STOP_THRESHOLD	2 mm	cf	
37040	\$MA_FIXED_STOP_BY_SENSOR	0	im	
37050	\$MA_FIXED_STOP_ALARM_MASK	1	cf	
37052	\$MA_FIXED_STOP_ALARM_REACTION	0H	po	
37060	\$MA_FIXED_STOP_ACKN_MASK	0H	po	
37070	\$MA_FIXED_STOP_ANA_TORQUE	5 %	po	
37080	\$MA_FOC_ACTIVATION_MODE	0H	po	
37100	\$MA_GANTRY_AXIS_TYPE	0	po	
37110	\$MA_GANTRY_POS_TOL_WARNING	0 mm	re	
37120	\$MA_GANTRY_POS_TOL_ERROR	0 mm	po	
37130	\$MA_GANTRY_POS_TOL_REF	0 mm	po	
37135	\$MA_GANTRY_ACT_POS_TOL_ERROR	0 mm	re	
37140	\$MA_GANTRY_BREAK_UP	0	re	
37150	\$MA_GANTRY_FUNCTION_MASK	0H	re	
37160	\$MA_LEAD_FUNCTION_MASK	1H	cf	
37200	\$MA_COUPLE_POS_TOL_COARSE	1 mm	cf	
37202	\$MA_COUPLE_POS_TOL_COARSE_2	0 mm	cf	
37210	\$MA_COUPLE_POS_TOL_FINE	0.5 mm	cf	

Gantry axis definition

General MD | Channel MD | **Axis MD** | User views

Fonte: (AUTOR, 2015).

Os valores dos parâmetros do CNC para o sincronismo do *gantry* estão disponíveis em variáveis acessíveis ao PLC. Portanto, pode-se configurar o comando numérico ou o PLC para realizar ações de parada e emergência em caso de falha.

O sincronismo dos eixos pode também ser encerrado e reestabelecido a qualquer momento na execução dos ciclos de raspagem. Este procedimento de acionar e desligar o sincronismo entre eixos pode ocorrer através do código G nos programas de usinagem, ou através do programa do PLC.

5 PROGRAMAÇÃO DO CNC E PLC NA RASPADORA

Após a configuração do CNC, deve ser realizado desenvolvimento de suas funcionalidades e programação de seus ciclos.

No CNC estão os programas de raspagem de pneus desenvolvidos na fabricação da máquina. Estes programas serão utilizados para que o usuário realize a raspagem somente alterando os valores de poucas variáveis.

Também foram desenvolvidas telas de usuário personalizadas. Nestas telas é possível que o usuário configure valores para ciclos de raspagem da máquina, salvar e carregar valores.

O PLC integrado ao CNC deve ser configurado para o funcionamento da máquina raspadora de pneus. Originalmente de fábrica o PLC possui configurações básicas para integração entre o CNC e o PLC.

Pela configuração de fábrica, o PLC do 840D sl possui um programa básico na linguagem STL. Por este motivo, é comum a utilização da linguagem STL em programação de uma máquina com CNC.

Portanto, a programação desta máquina foi realizada em programação por lista STL, facilitando manutenções futuras da máquina.

Para a finalidade deste projeto foram configurados no PLC os sensores utilizados: Sensor magnético para medição da espessura de borracha no pneu antes e durante o processo de raspagem, sensores de fim de curso para os eixos pneumáticos, sensores de porta aberta para operação.

5.1 Definição de variáveis e trajetória do ciclo de raspagem

A máquina raspadora de pneus possui variáveis criadas no CNC e no PLC. A localização das variáveis é definida dependendo dos locais onde estas forem mais utilizadas, resultando em um menor tempo de processamento necessário.

O comando numérico possui variáveis próprias do comando. Estas podem ser globais, locais ou de programa no CNC. Segundo a Siemens descreve em seu manual de programação do Sinumerik 840D sl, estas variáveis devem ser declaradas no CNC em seus respectivos arquivos de definição GUD (global), LUD (local) ou de programa (PUD).

As variáveis do CNC podem ser comunicadas com o PLC através do procedimento de *get - put*. Neste procedimento, as variáveis do CNC são enviadas através da comunicação pela

rede PROFINET, sendo o valor atribuído a variáveis de PLC criadas para recepção da comunicação com o CNC.

As variáveis globais (GUD) criadas para esta máquina podem ser acessadas tanto através dos programas de raspagem do perfil do pneu, quanto para utilização nas telas personalizadas criadas no comando numérico.

O recurso de criação de telas personalizadas no CNC (*Custom Screen*) é chamado *EasyScreen*. Estas telas possuem como principal atrativo a possibilidade de criar telas específicas para a aplicação da máquina, sendo possível para o operador inserir parâmetros essenciais para a operação da máquina e acionar ciclos criados durante o desenvolvimento da aplicação.

As telas personalizadas retira a necessidade de programação do operador. Com isso, não são necessários conhecimentos avançados de programação em código G para operar a raspadora, diminuindo o custo de treinamento de pessoal, além do fato de diminuir a possibilidade de erros durante programação.

Para este projeto, foram desenvolvidas telas de operação personalizadas para realizar a raspagem dos perfis de pneus, e salvar receitas de pneus para repetir a raspagem em pneus idênticos sem a necessidade de reprogramar e carregar receitas de pneus.

A raspadora de pneus possui cinco parâmetros que devem ser inseridos pelo usuário, para que seja possível realizar através de cálculos na programação em G, os ciclos pré-programados da máquina.

A Figura 5.1 mostra um pneu de caminhão leve, produto alvo desta raspadora de pneus (MICHELIN, 2015).

Figura 5.1 – Pneu de caminhão leve

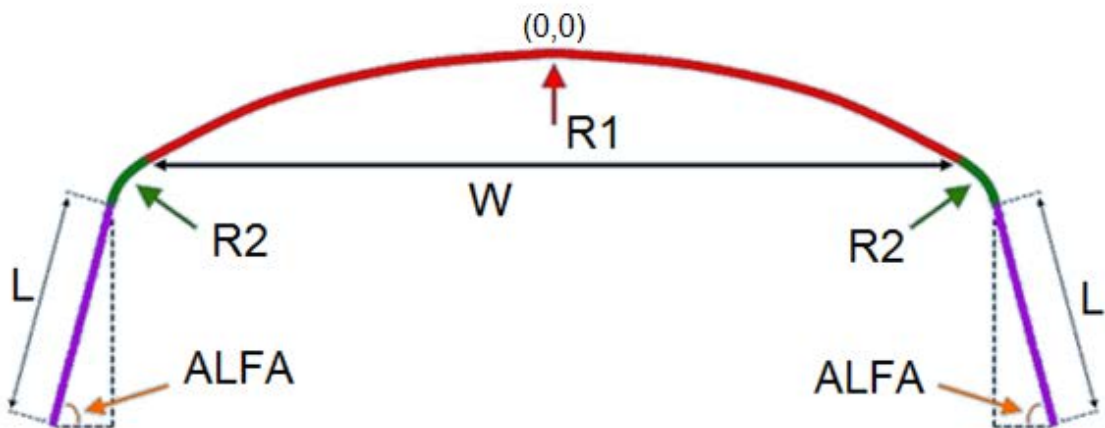


Fonte: (MICHELIN, 2015).

Os parâmetros fundamentais juntamente com o nome e número configuram uma receita de raspagem do pneu. As receitas podem ser acessadas e recuperadas pelo usuário nas telas customizadas.

Na Figura 5.2 observam-se os parâmetros fundamentais da forma do pneu para o ciclo de raspagem: Os raios da banda de rodagem (R1) e da transição entre a banda de rodagem e a lateral do pneu (R2); a largura da banda de rodagem (W); altura da lateral que deve ser raspada no processo (L); e o ângulo alfa, definido como o ângulo da lateral do pneu em relação a horizontal.

Figura 5.2 – Trajetória completa de raspagem



Fonte: (AUTOR, 2015).

O ciclo completo da máquina ocorre com a ferramenta de corte partindo do centro da banda de rodagem do pneu. A ferramenta segue no sentido da extremidade da banda de rodagem, seguindo a trajetória circular de raio R1 até atingir o ombro do pneu, quando assume uma trajetória circular de raio R2.

Após o fim da curva de raio R2, a ferramenta continua sua trajetória pela lateral do pneu descendo de forma retilínea por um comprimento L e com inclinação definida pelo ângulo de alfa.

Durante o processo de desgaste deste lado do pneu, a ferramenta do lado oposto do pneu realiza o desgaste no lado oposto, completando a tarefa de raspagem na metade do tempo.

Utilizando estes valores, são calculados pontos de coordenadas que serão programados no CNC através do código G.

O ponto de coordenada (0,0) é definido como sendo o ponto mais alto do arco de raio R1, indicado pela seta no topo da Figura 5.2. O CNC inicia a raspagem a partir deste ponto compensando o comprimento da ferramenta automaticamente.

Outro parâmetro a ser inserido é o número de passadas a serem realizadas, ou seja, o número de vezes que o usuário deseja que a raspagem seja realizada automaticamente, avançando o valor definido na variável de avanço.

A cada passagem da ferramenta pelo pneu, o CNC incrementa um avanço da ferramenta programado pelo usuário.

Existe também a variável do nome da receita de raspagem. Esta realiza a configuração do nome pelo qual aquele formato de pneu é chamado. Ou seja, a receita é uma lista de valores de um determinado pneu comumente raspado.

As variáveis são definidas no arquivo correspondente de variáveis (GUD) possuindo os valores de raio, comprimento, ângulo e nome definidos em vetores de variáveis.

A utilização dos vetores permite salvar várias receitas com nomes idênticos e carregar estas receitas apenas alterando o respectivo índice.

Portanto, para utilizar o raio R1 da receita de número 19, o programa deve utilizar a variável global do comando numérico “_RADIUS_R1[19]”.

Também foram incluídas as variáveis para os valores que estão atualmente ativos no CNC. Estas variáveis possuem o prefixo *current* no seu nome e são as variáveis que são utilizadas durante os ciclos de raspagem do pneu.

As variáveis globais do CNC são utilizadas nos ciclos pré-definidos de raspagem e nas telas de usuário customizadas. Estas também podem ser utilizadas por outros programas de código G que o usuário da máquina crie posteriormente. Porém, sua definição é mantida protegida por senha definida no desenvolvimento do equipamento.

5.2 Ciclos pré-definidos de raspagem

Os programas de raspagem mais comuns na operação da máquina já são desenvolvidos durante este projeto. Foram criados programas para a raspagem em diversas situações exigidas para a raspagem do pneu:

- Raspagem completa, incluindo os dois raios R1 e R2 e o comprimento L.
- Raspagem somente incluindo o raio R1
- Raspagem reta, realizando somente um comprimento W retilíneo.

Os ciclos estão programados em diferentes arquivos. Cada arquivo contém um tipo de raspagem, e sua execução depende dos valores programados nas variáveis de usuários sendo utilizadas.

O programa executado pelo usuário na tela personalizada é o programa principal chamado “MAIN.MPF”. A extensão “MPF” define o arquivo como programa principal, *main program file*.

Este programa realiza a análise dos parâmetros inseridos nas variáveis globais, decidindo pela utilização do programa de raspagem corresponde (completa, somente o raio R1 ou somente o comprimento retilíneo W).

Os programas de raspagem específicos estão localizados em subprogramas, definidos pela extensão “SPF” (*subprogram file*).

A realização do programa de raspagem completa ocorre quando os cinco parâmetros do pneu (R1, R2, W, L e alfa) possuem valores maiores que zero.

Para a realização do programa com somente o raio R1, os valores das variáveis globais R2, L e alfa devem ser iguais a zero, enquanto que os valores de R1 e W devem ser maiores que zero.

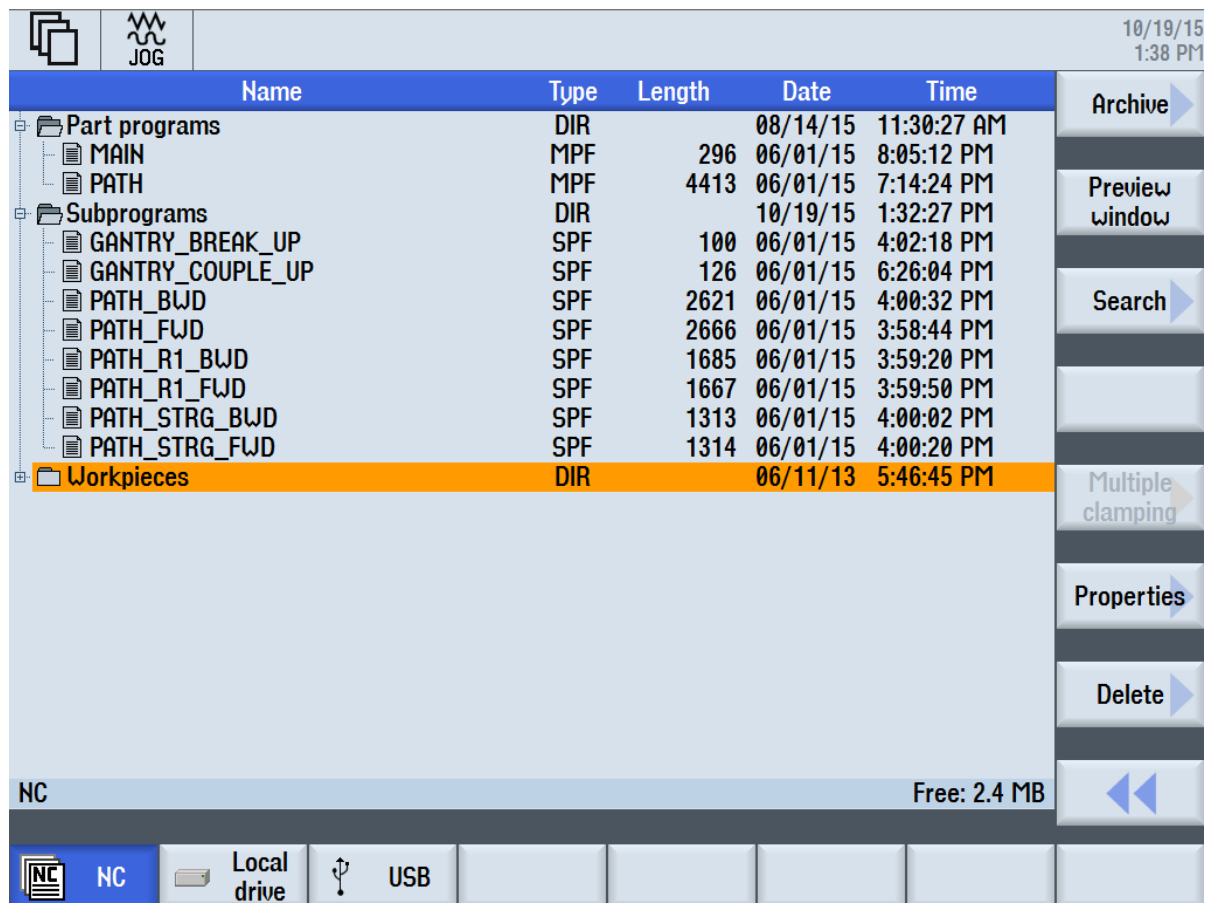
Por fim, para a realização somente do trecho retilíneo de comprimento W, os parâmetros R1, R2, L e alfa devem possuir valor zero.

Outro subprograma definido como ciclo pré-programado tem a função de realizar as operações de acionamento do sincronismo do *gantry* das ferramentas de ambos os lados da raspadora, e finalizar esta função.

As raspagens descritas são executadas nos dois lados do pneu de forma simultânea pelas duas ferramentas de cortes ligadas mecanicamente, diminuindo, somente por esta função o tempo necessário de raspagem em 50%.

A Figura 5.3 mostra a organização do programa principal e dos subprogramas no comando numérico.

Figura 5.3 – Definição dos programas no CNC



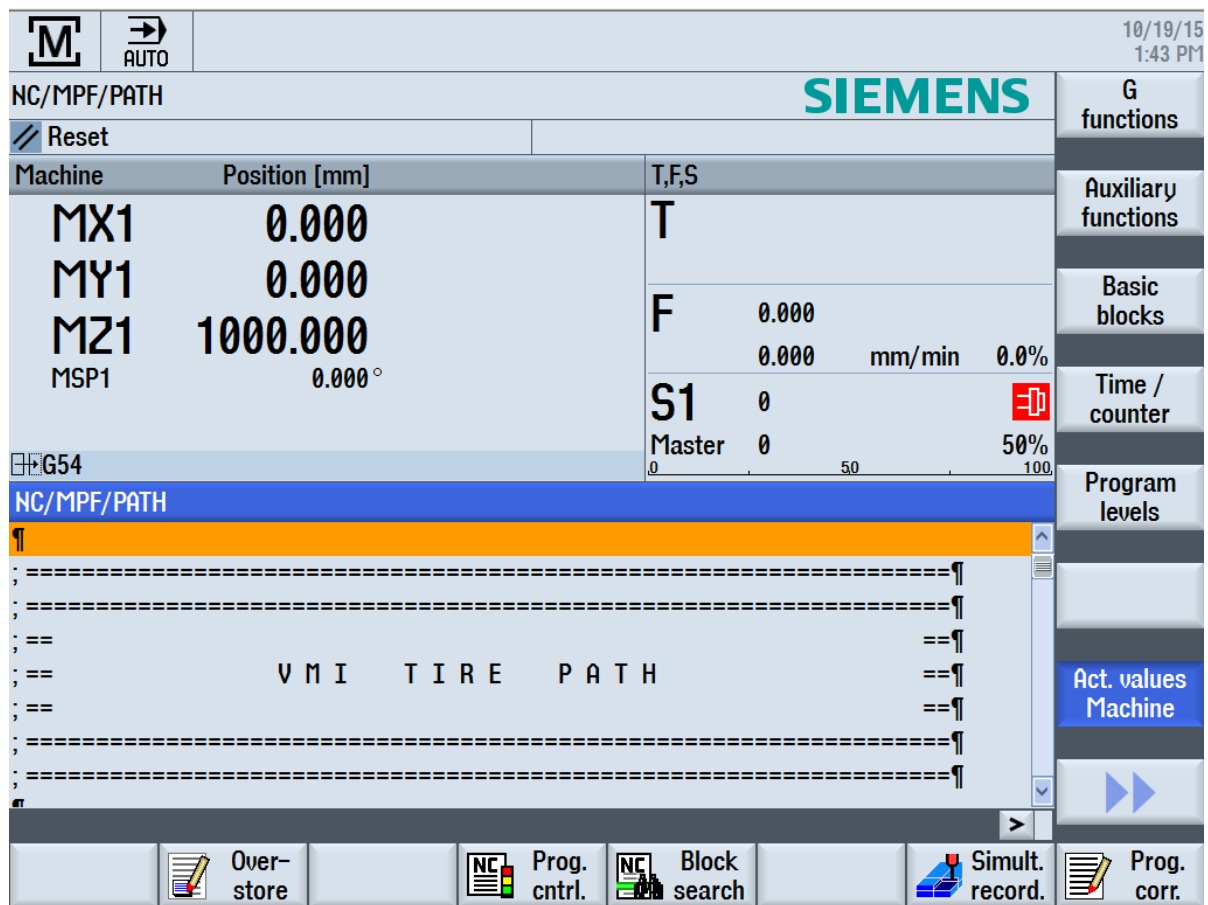
Fonte: (AUTOR, 2015).

A execução do programa principal, assim como os subprogramas, pode ser realizada tanto na tela de máquina principal no comando numérico, como também automaticamente quando o usuário configurar as variáveis de raspagem e executar o programa na tela personalizada.

A Figura 5.4 mostra o comando de executar os programas definidos anteriormente pelo usuário na tela de máquina principal.

Quando a operação da raspagem é realizada na tela da máquina, o operador deve seleccionar o programa “path.mpf”, e com os valores inseridos nas variáveis, o usuário pressiona o botão de início para começar a raspagem.

Figura 5.4 – Executar o programa principal de raspagem



Fonte: (AUTOR, 2015).

5.3 Telas customizadas de configuração

As configurações de ciclos, definição de valores de variáveis, chamada de ciclos e operação da máquina são executados através de telas customizadas desenvolvidas justamente e exclusivamente para a raspadora de pneus.

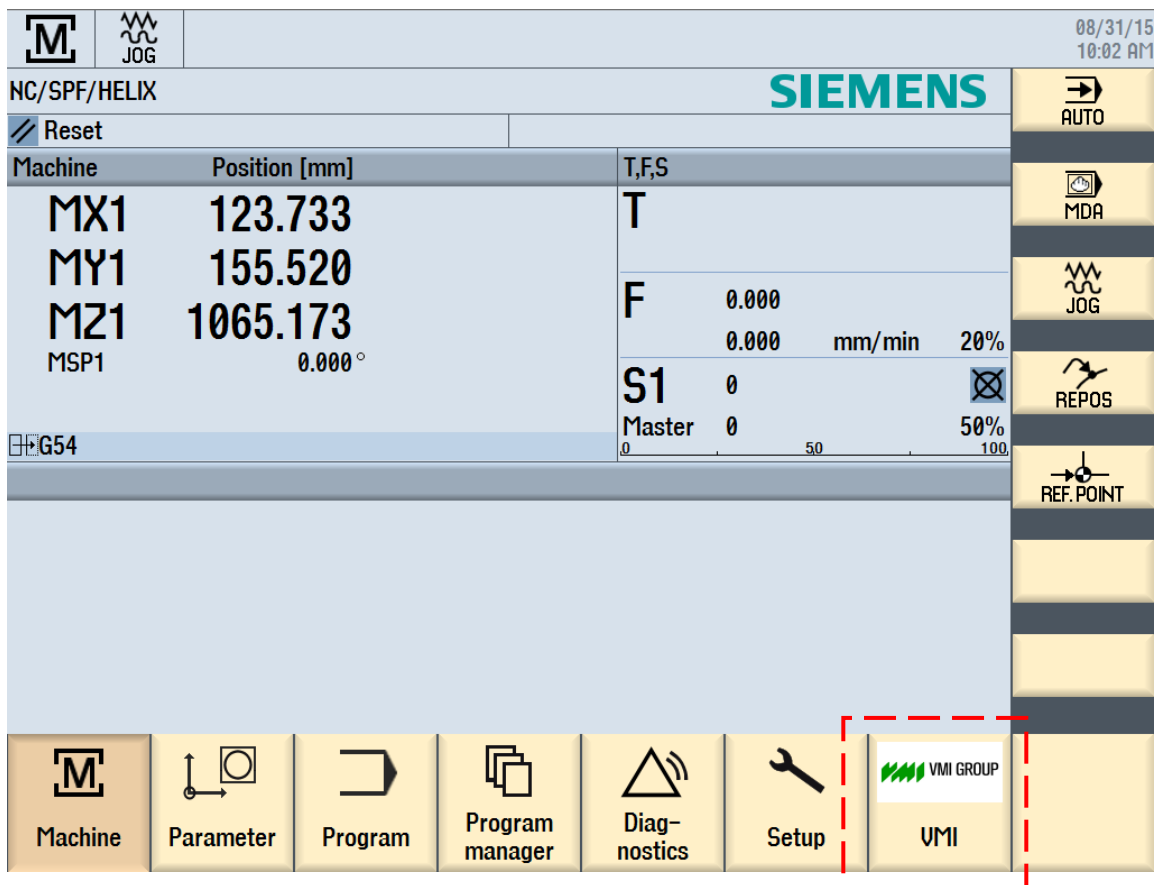
Para a configuração das telas customizadas, conforme descreve o manual (SIEMENS, 2008), deve-se editar e criar alguns arquivos no CNC.

Os modelos básicos destes arquivos de inicialização das telas podem ser encontrados no cartão CF (*Compact Flash*) do Sinumerik 840D sl. A partir destes arquivos foram realizadas edições para personalizá-los a esta aplicação.

Com a criação das telas personalizadas, um botão na tela de operação do CNC (*softkey*) é exibido na posição programada. No caso deste projeto tem-se a *softkey* na posição 7 da barra horizontal (VMI).

A Figura 5.5 mostra a *softkey* criada para acesso das telas personalizadas criadas. Em destaque tracejado se encontra a tecla para acesso a tela *custom*.

Figura 5.5 – Teclas de softkey contendo o acesso a área *custom* na posição 7



Fonte: (AUTOR, 2015).

As telas personalizadas possuem acesso tanto para as variáveis de CNC globais criadas (GUD) quanto para variáveis de PLC.

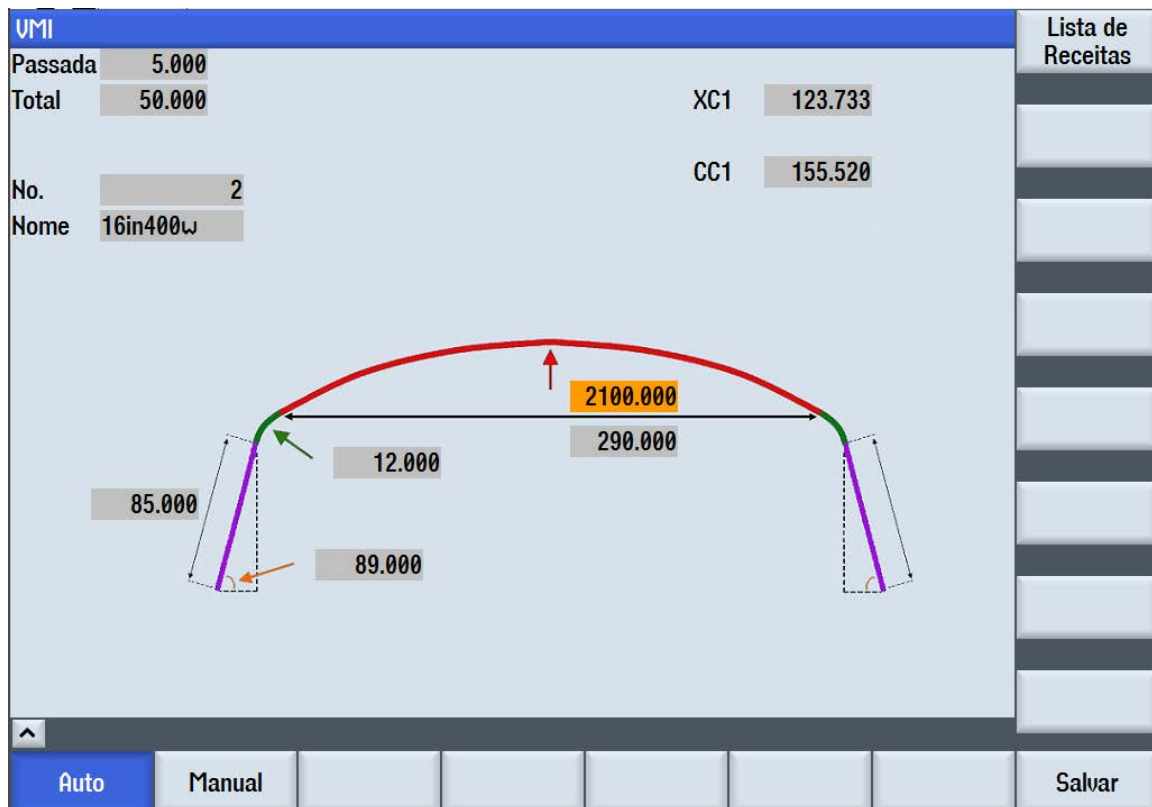
O CNC foi configurado para que o comando inicie sua operação na tela personalizada, na Figura 5.6. Portanto, recomenda-se a utilização desta tela para operação da máquina pelo usuário. Através das telas personalizadas, a operação pode ser realizada com menor conhecimento da aplicação e de maneira mais simples e eficiente.

A tela inicial personalizada é exibida na Figura 5.6 onde é possível observar os campos para que o operador inclua os parâmetros do pneu (R1, R2, W, L e alfa) assim como o número de passadas, o total a ser raspado ao final das passadas, o número da receita e o nome da receita.

As *softkeys* possibilitam o usuário alterar o modo de operação entre automático e manual, salvar a receita que está na tela personalizada e a *softkeys* de acesso para a página com a “Lista de Receitas”.

Também se observa na tela o valor da posição dos eixos. Ou seja, são exibidas as coordenadas em que a ferramenta de corte se encontra no momento.

Figura 5.6 – Tela de configuração da raspagem



Fonte: (AUTOR, 2015).

Pressionando a softkey de lista de receitas, pode-se acessar uma tela exibindo a tabela com todas as receitas salvas no CNC e a receita sendo utilizada no momento.

Nesta tela personalizada é possível selecionar uma receita da tabela para utilizá-la. Uma função criada no desenvolvimento seleciona a receita da linha onde a seleção do comando está localizada (célula escurecida na Figura 5.7), no momento em que a *softkey* de “selecionar receita” é pressionada.

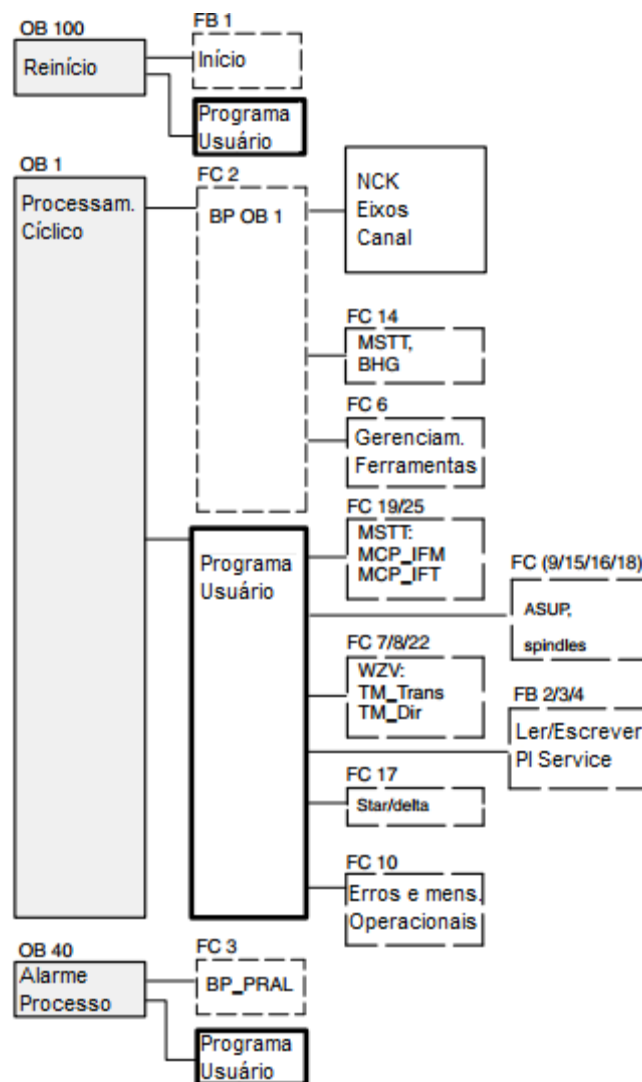
Os blocos de comunicação com o CNC são configurados em funções (FC) definidos no PLC. Também há programas para início da execução (FB1).

A Figura 5.8 mostra os ciclos básicos para o funcionamento do PLC.

O PLC possui mais blocos que os mostrados na Figura 5.8, as funções de comunicação e configuração básica já são programadas pelo fabricante.

Outros blocos necessários para funções específicas deste projeto foram desenvolvidos. As configurações para programas de usuário, periféricos da raspadora, procedimentos para envio e recebimento de dados entre o PLC e o CNC, tratamento de processamento de funções *Safety* consistem nos blocos desenvolvidos.

Figura 5.8 – Organização do PLC



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2006).

5.5 Funções *Safety*

A funcionalidade *Safety* é realizada através da comunicação das entradas e saídas do Simatic ET 200S, possuindo redundância no processamento.

A redundância de processamento ocorre de forma simultânea no PLC e no CNC. Ou seja, toda informação é processada ao mesmo tempo em dois processadores independentes. Este fato permite uma maior confiabilidade no sistema.

As funções de *Safety* utilizadas incluem:

- *Safe Torque Off (STO)*: Garante que nenhuma energia geradora de torque atue no motor prevenindo partidas não intencionais. Esta função é acionada quando em situações onde os eixos não podem se mover, como por exemplo, durante manutenção do equipamento ou em momentos quando a porta da máquina estiver aberta.
- *Safe Operating Stop (SOS)* que coloca o motor em uma posição especificada e mantém sua monitoração através do inversor de frequência.
- *Safe Stop 1 (SS1)* é a função que ativa o freio antes que a função STO seja ativada. No caso de evento perigoso, os inversores de frequência com alta energia cinética podem ser posicionados no local específico com extrema rapidez.

As funções de *Safety* são configuradas de acordo com exigências da norma técnica para garantir a segurança do usuário e execução de acordo com pedidos específicos adicionais de segurança do fabricante ou comprador da máquina.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No projeto são realizados: O projeto de equipamentos necessários; o desenvolvimento de funções do CNC (otimização dos eixos, sincronismo, criação de telas personalizadas para operação, programas pré-definidos em código G, funções de parada de segurança *Safety*); funções do PLC específicas para a máquina (alarmes e falhas, tratamento de entradas e saídas da raspadora, programas de usuário, funções de leitura e escrita entre o PLC e o CNC).

Com estes desenvolvimentos é observado um aumento na produção de pneus em 67% (redução de 40% no tempo), além de maior segurança ao operário durante a raspagem do pneu.

O processo manual de raspagem de pneus conta com um operário realizando raspagens em um lado do pneu sendo rotacionado. Este processo, além de possuir uma baixa produtividade, apresenta sérios riscos ao operador durante a raspagem devido a detritos retirados da banda de rodagem remanescente.

A implementação da automação da máquina raspadora permite um ambiente mais seguro ao operário, possuindo portas de proteção e botões para parada de emergência. Estas protegem de detritos gerados durante a raspagem do pneu. O desenvolvimento das funções *Safety* realizadas neste projeto com seu processamento redundante são responsáveis por este ganho de segurança.

A utilização do sensor magnético permite diagnosticar a quantidade de borracha disponível no pneu para que se atinja a malha metálica em diversos pontos do pneu de forma rápida, eficiente e sem qualquer alteração no produto.

O processo de medição pelo sensor magnético permite diminuir o tempo de preparo e estudo para início do processo.

A máquina raspadora de pneus possui duas ferramentas de raspagem. A utilização destes eixos sincronizados permite dobrar a velocidade efetiva de raspagem, realizando simultaneamente os dois lados do pneu com grande exatidão. A utilização do sincronismo dos eixos (*gantry*) apresenta uma raspagem com a metade do período necessário e com alta precisão.

O CNC utilizado permite também o cálculo de compensação do raio da ferramenta, realizando automaticamente a compensação deste para a programação do usuário em código G.

A análise da ferramenta de raspagem feita pelo CNC também permite saber seu desgaste. Com estes dados, é possível planejar a compra de ferramentas de corte para a

substituição, além de realizar estatísticas de consumo das ferramentas por tipo de pneu ou operador da máquina.

As receitas salvas dos pneus permitem acesso mais rápido para tipos de pneus recorrentes no processo de raspagem. Através das telas personalizadas, o usuário pode realizar o acesso destas com pouco conhecimento da máquina, e sem a necessidade de o usuário ser experiente com operação de CNC. Os ciclos criados para esta máquina, em conjunto com as telas de operação simplificam para o operador a utilização da raspadora, eliminando a necessidade de conhecimento de CNC.

O desenvolvimento realizado neste projeto consiste no comissionamento e otimização do CNC e PLC, incluindo a programação dos ciclos no CNC, a criação de lógicas operacionais e entradas e saídas no PLC, e criação de telas personalizadas para facilitar a operação da máquina pelo usuário.

Estas funcionalidades acrescentadas à máquina permitem que a produção aumente em cerca de 250% com a utilização das duas ferramentas de corte, e o processo automatizado com velocidades maiores e maior segurança. Portanto, o processo de raspagem que anteriormente consumia 5 minutos para ser realizado, dura 2 minutos para ser completo quando executado pela máquina automatizada (conforme testes e simulações realizadas em máquina protótipo).

A raspagem automatizada com o CNC possui maior exatidão na raspagem, eliminando a necessidade do processo de escareação, diminuindo, portanto, o tempo total para o processo de reciclagem de pneus.

Com a automação, o processo de reciclagem é descrito a seguir:

- Triagem: Análise das condições do pneu, verificando a possibilidade de recapagem.
- Limpeza do pneu: Consiste em retirar sujeira ou impurezas que podem influenciar o processo. Este processo possui duração média de 10 minutos.
- Raspagem: Retirada da banda de rodagem remanescente do pneu na máquina raspadora automatizada. O processo ocorre em 2 minutos.
- Aplicação de cola para fixação. Este processo consome 5 minutos para sua realização.
- Aplicação da banda de rodagem: A nova banda de rodagem é fixada no pneu. A duração deste procedimento é de 10 minutos.

- Vulcanização: Pneu é envelopado gerando vácuo. Este pneu é colocado na autoclave, unindo a banda aplicada à carcaça do pneu. O período para este processo é de três horas.

O novo processo de reciclagem consiste em 27 minutos para sua realização, além das 3 horas necessárias na autoclave para a vulcanização dos pneus.

Para estimativas de produção, é considerado a realização da raspagem ocorrendo por 2 horas diárias, 5 dias por semana, possibilitando que este operário realize outras tarefas e evitando acúmulo de pneus para a vulcanização na autoclave.

A produção por 2 horas diárias na raspadora manual raspa 24 pneus, enquanto que na máquina automatizada estima-se uma produção de 60 pneus por dia.

Para estimar a receita gerada com a reciclagem, considera-se a estimativa de produção de um pneu reciclado como sendo R\$ 210,00.

Considerando impostos associados à venda e reciclagem do pneu, estimados em R\$ 105,00 pelo fabricante, o valor de gastos totais é, em média, R\$ 315,00 de acordo com o fabricante.

Por sua vez, o preço de venda de um pneu reciclado é, em média, R\$ 360,00. Portanto, é estimado um lucro médio de R\$ 45,00 por pneu.

A Tabela 6.1 exibe os valores relativos aos custos da reciclagem do pneu.

Tabela 6.1 – Custos da reciclagem do pneu

Custos reciclagem por pneu	
Motivo	Valor
Custo recauchutagem	R\$ 210,00
Encargos e impostos	R\$ 105,00
Total	R\$ 315,00

Fonte: (AUTOR, 2015).

Os dados de custo e preço fornecidos são valores médios observados pelo fabricante de pneus reciclados.

Com base no tempo médio observado pelo fabricante no processo de raspagem manual e em dados obtidos através das simulações pode-se estimar a quantidade de pneus produzidos mensalmente, assim como o lucro obtido, conforme mostra a Tabela 6.2

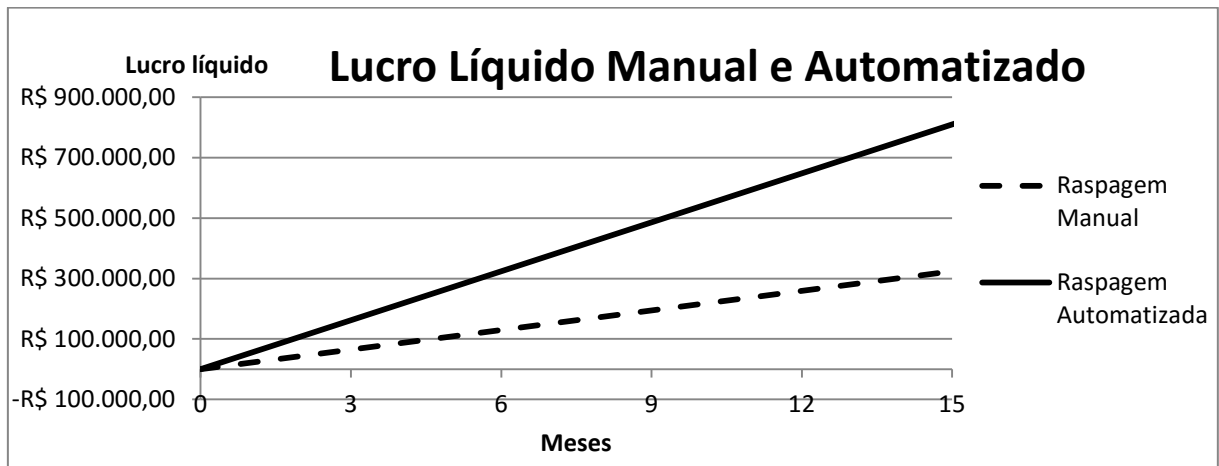
Tabela 6.2 – Produção de pneus reciclados estimada

Produção de pneus reciclados				
Período	Manual		Automática	
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
Dia	24	R\$ 1.080,00	60	R\$ 2.700,00
Mês	480	R\$ 21.600,00	1.200	R\$ 54.000,00
Ano	5.760	R\$ 259.200,00	14.400	R\$ 648.000,00

Fonte: (AUTOR, 2015).

A Figura 6.1 estima o lucro líquido da venda dos pneus reciclados, considerando um mercado não saturado, com venda de todas as unidades produzidas.

Figura 6.1 – Lucro da produção com raspagem manual e automatizada

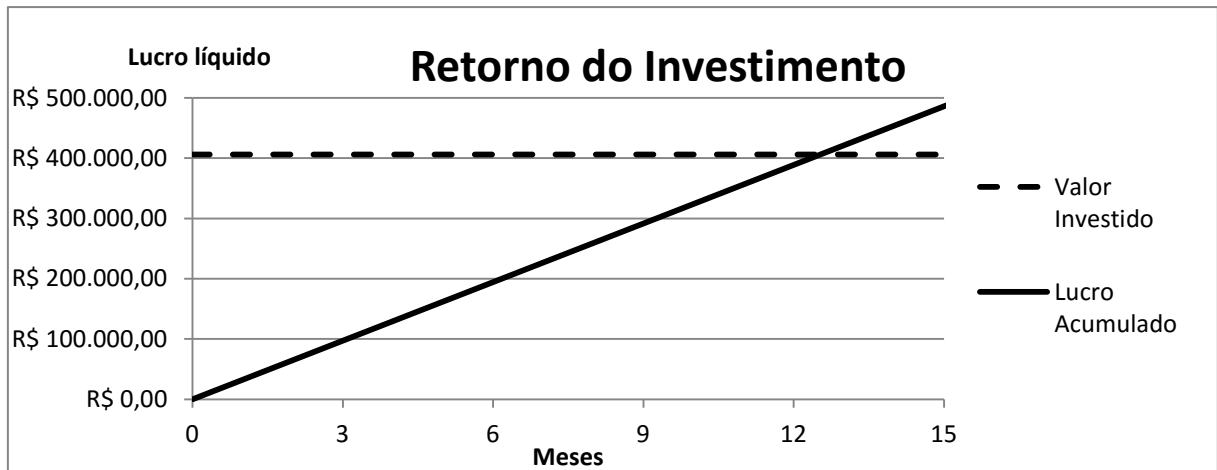


Fonte: (AUTOR, 2015).

O investimento total para a automação da máquina raspadora de pneus é estimado em R\$106.062,50 (não oficial), incluindo os valores dos componentes de automação adquiridos, impostos, custos de importação, e custos de engenharia para o desenvolvimento. O fabricante também estima o custo mecânico da máquina em R\$ 300.000,00, totalizando um investimento para a sua fabricação de R\$ 406.062,50.

A diferença de lucro acumulada é exibida na Figura 6.2.

Figura 6.2 – Retorno do Investimento



Fonte: (AUTOR, 2015).

Observa-se na Figura 6.2 que com a automação da máquina raspadora de pneus, atinge-se o valor de R\$ 406.062,50, do investimento para a sua automação, em 13 meses de produção. Considerando 10 horas semanais em um mercado não saturado, com venda de todos os pneus produzidos.

Além do aumento na produção, a confiabilidade do processo também é aprimorada. Isto se deve ao fato da utilização de instrumentos de exatidão, como o medidor de espessura pelo leitor magnético.

A produção em série da máquina é outra grande vantagem da utilização do CNC com o PLC. Pode-se implementar a mesma aplicação em outras máquinas produzidas em poucos minutos, necessitando somente carregar os dados no CNC e PLC.

Portanto, o custo de engenharia necessário para desenvolver as aplicações da raspadora (otimização dos eixos, sincronismo, funções de comunicação e de periféricos no PLC, ciclos de raspagem, telas personalizadas e redundância de processamento com tecnologia *Safety*) somente se aplica a máquina protótipo, reduzindo consideravelmente o custo de produção em série da raspadora.

Analisando os resultados de testes e simulação do processo automatizado, e comparando ao valor investido pelo fabricante pneus, a automação é uma solução viável para a implementação por apresentar aumento na produtividade e confiabilidade, além de aumentar a segurança ao operário da máquina.

7 CONCLUSÃO

A automação da máquina raspadora de pneus é uma solução viável a ser realizada possibilitando o aumento de produção (diminuição do tempo necessário para a raspagem da banda de rodagem do pneu).

A redução do tempo necessário para a raspagem ocorre pelo fato de haver duas ferramentas de raspagem instaladas na máquina, possibilitando dobrar a velocidade de raspagem.

Outro aspecto importante é o fato de que com a automação, é possível realizar a raspagem da banda de rodagem em uma maior velocidade sem prejudicar a segurança do processo. Isto se deve ao fato de que não haverá operador próximo da raspagem.

Com a automação pode-se criar e salvar receitas para pneus específicos. Com estas receitas o operador pode economizar tempo para identificar os valores de raio, comprimentos e ângulo, uma vez que estes valores já estarão pré-cadastrados em telas personalizadas de fácil leitura e operação.

A utilização do CNC para o desenvolvimento da automação permite um desenvolvimento com menor tempo necessário de engenharia. Portanto, reduz o custo de engenharia relacionado ao projeto e o custo total do desenvolvimento do projeto.

O CNC e PLC do projeto também permitem a fácil produção em série do equipamento, sem a necessidade de grandes conhecimentos de programação.

O recurso *Safety* utilizado pelo PLC e o CNC, realizando o processamento redundante, possibilita a maior confiabilidade do sistema contra falhas no seu processamento evitando possíveis riscos ao operário ou danos aos pneus sendo raspados.

A viabilidade do sistema é dada, portanto, pelos ganhos gerados pela automação que possibilitam o retorno ao investimento para a automação da máquina raspadora da banda de rodagem dos pneus em curto prazo. Ou seja, estima-se recuperar o valor investido para automatizar o equipamento em 13 meses, e continuar a produzir em níveis maiores, gerando, portanto, uma maior quantidade de pneus para a reciclagem e conseqüentemente um lucro maior ao fabricante.

REFERÊNCIAS

FRANCHI, C. M. **Inversores de Frequência: teoria e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008. 240 p.

MICHELIN. **Structure of Tyre**. Disponível em: <<<http://www.michelin.co.uk/tyres/learn-share/tyre-basics/structure-of-a-tyre>>>. Acesso em 19 out. 2015

NATALE, F. **Automação industrial**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2008. 256 p.]

RG PNEUS. **Raspagem de pneus**. Disponível em: <<http://www.gruporgpneus.com.br/reformas-processo.php>>. Acesso em 19 out. 2015

ROMI. **Manual de programação e operação**. Disponível em: <http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/MANUAL_PROGR_OPERACAO_WORLDSKILLS/LINHA_D_SIE MENS_PORTUGUES_Progr_Operacao.pdf>. Acesso em 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Kit Sinumerik 840D sl**. Disponível em: <http://siemens71.ru/jpg/P_NC01_XX_00690I.JPG>. Acesso em: 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Operating instructions 1FK7 synchronous motors**. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/48983753/1FK7_en-US.pdf?download=true>. Acesso em: 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Simatic S7-300**. Disponível em: <<https://c4b.gss.siemens.com/resources/images/articles/e20001-a730-p210-x-7600.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2015

SIEMENS AG. **Simatic S7-300: automation system**. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/15390497/s7300_cpu31x_getting_start_ed_en-US_en-US.pdf?download=true>. Acesso em: 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Simatic ET 200S**. Disponível em: <http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_simatic-et200_en.pdf>. Acesso em: 26 out. 2015

SIEMENS AG. **Simatic ET 200S: Safety Combination**. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/6009000/950034650000_RS_AA_01_201309041402524392.pdf?download=true>. Acesso em: 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinamics S120**. Disponível em: <<http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/mc/Documentsu20Brochures/E20001-A30-P670-V5-7600.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinamics S120**: . Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/bilddb/download.aspx?reqInsID=1309925>>. Acesso em: 26 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinamics S120**: equipment manual ac drive. Disponível em: <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/000/99673000/att_51983/v1/GH6_0414_eng_en-US.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2015

SIEMENS AG. **Sinumerik 840D sl Booksize**. Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/bilddb/download.aspx?reqInsID=1156666>>. Acesso em: 26 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinumerik 840D sl**. Disponível em: <<http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/mc/Documentsu20Brochures/E20001-A1460-P610-V27600.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinumerik 840D sl**: Base Software and HMI sl. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109254363/IHsl_0108_en.pdf?download=true>. Acesso em: 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinumerik 840D sl**: Commissioning CNC: NC, PLC, Drive. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109476442/IDsl_en_enUS.pdf?download=true>. Acesso em: 19 out. 2015

SIEMENS AG. **Sinumerik 840D/810D Simodrive 611 digital**: Start-Up Guide. Disponível em: <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/436/98207436/att_46138/v1/IAD_0400_en.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2015

SILVA, S. D. **CNC**: Programação de comandos numéricos computadorizados - Torneamento. 8. ed. São Paulo: Érica, 2009. 312 p.

VDMA. **Rubber Machinery Association**. Disponível em: <http://kug.vdma.org/en_GB>. Acesso em: 27 ago. 2015

WEG. **Motores síncronos**. Disponível em: < <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-sincronos-artigo-tecnico-portugues-br.PDF>>. Acesso em: 19 out. 2015