UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

**Utilização do protocolo MTConnect para monitoramento e
análise dos dados gerados pelo Controle Numérico
Computadorizado**

Marcelo Pereira de Santana

Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado Profissional em
Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria (MECAI)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Marcelo Pereira de Santana

Utilização do protocolo MTConnect para monitoramento e análise dos dados gerados pelo Controle Numérico Computadorizado

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências
Matemáticas e de Computação – ICMC-USP,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre – Mestrado Profissional em Matemática,
Estatística e Computação Aplicadas à Indústria.
VERSÃO REVISADA

Área de Concentração: Matemática, Estatística e
Computação

Orientador: Prof. Dr. Antonio Castelo Filho

USP – São Carlos
Abril de 2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

S314u Santana, Marcelo Pereira de
 Utilização do protocolo MTConnect para
 monitoramento e análise dos dados gerados pelo
 Controle Numérico Computadorizado / Marcelo Pereira
 de Santana; orientador Antonio Castelo Filho. --
 São Carlos, 2019.
 156 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 em Mestrado Profissional em Matemática, Estatística
 e Computação Aplicadas à Indústria) -- Instituto de
 Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade
 de São Paulo, 2019.

 1. Big Data. 2. CNC. 3. FANUC. 4. MTConnect. 5.
 Python. I. Castelo Filho, Antonio, orient. II.
 Título.

Marcelo Pereira de Santana

Use of MTConnect protocol for monitoring and analysis of
data generated by Computer Numerical Control

Dissertation submitted to the Institute of Mathematics
and Computer Sciences – ICMC-USP – in accordance
with the requirements of the Professional Master's
Program in Mathematics Statistics and Computing
Applied to Industry, for the degree of Master in Science.
FINAL VERSION

Concentration Area: Mathematics, Statistics and
Computing

Advisor: Prof. Dr. Antonio Castelo Filho

USP – São Carlos
April 2020

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.
Em especial, ao pesquisadores do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC).*

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos são direcionados à minha esposa Andréia e à minha filha Mariana, pois sem elas esse sonho não seria possível.

Os agradecimentos são voltados também ao diretor da escola SENAI Araraquara, Paulo Sérgio Sassi, ao coordenador técnico Roberval Aparecido Rodrigues Catholico, ao orientador de práticas profissionais Tales Breno Justino e a todos aqueles que contribuíram para que a produção deste trabalho fosse possível.

Também gostaria de registrar meus agradecimentos especiais ao Professor Dr. Antonio Castelo Filho, meu orientador, que sempre acreditou na relevância e propósito deste trabalho.

*“O que sabemos é uma gota;
o que ignoramos é um oceano.”
(Isaac Newton)*

RESUMO

SANTANA, P. M. **Utilização do protocolo MTConnect para monitoramento e análise dos dados gerados pelo Controle Numérico Computadorizado**. 2020. 156 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2020.

A 4ª Revolução Industrial pode mudar a realidade de vários setores da indústria, uma vez que as oportunidades e desafios proporcionado pela indústria 4.0 não sejam perdidas pelos gestores. Mas esta nova "Revolução" também produz um grande volume de dados que, impulsionado pela era do *Big Data*, gera uma sinergia entre as empresas de máquinas-ferramenta e tecnologia, em busca de uma padronização capaz de interligar diversos equipamentos com a mesma rapidez com que os dados são gerados. No entanto não basta somente ter os dados disponíveis, é preciso saber quais dados são mais importantes para que possam ser analisados e visualizados. Este trabalho tem como objetivo principal utilizar o padrão de comunicação *MTConnect* para extração dos dados de usinagem de um Controle Numérico Computadorizado (CNC), que gerará uma economia de tempo e um trabalho realizado com melhor qualidade na questão voltada a análise dos esforços de corte de diferentes tipos de ferramenta. Trata-se de uma pesquisa quantitativa, mais precisamente um estudo de caso. As atividades práticas foram realizadas no laboratório de usinagem da Escola SENAI de Araraquara. Para o embasamento deste trabalho foi feito um levantamento sobre as ferramentas e dispositivos utilizados no CNC, uma vez que o padrão *MTConnect* deve permitir o fluxo de dados entre a máquina e o computador. Como conclusão foi possível perceber a dificuldade em articular os dispositivos para extrair informações úteis da máquina CNC, mas o trabalho foi capaz de gerar análises gráficas dos dados de usinagem, em função de diferentes geometrias de ferramentas de corte. Estas análises podem auxiliar numa tomada de decisão no momento da escolha do ferramental a ser utilizado num determinado processo de usinagem.

Palavras-chave: Big Data, CNC, Fanuc, MTConnect, Python.

ABSTRACT

SANTANA, P. M. **Use of MTConnect protocol for monitoring and analysis of data generated by Computer Numerical Control.** 2020. 156 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2020.

The 4th Industrial Revolution can change the reality of various industry sectors, as the opportunities and challenges provided by industry 4.0 are not missed by managers. But this new "Revolution" also produces a large volume of data that, driven by the Big Data era, generates a synergy between machine tool and technology companies, in search of a standardization capable of interconnecting diverse equipment with the same speed with that the data is generated. However, it is not enough to just have the data available, it is necessary to know which data is most important so that they can be analyzed and visualized. This work has as main objective to use the MTConnect communication standard to extract the machining data from a Computer Numerical Control (CNC), which will save time and work done with better quality in the question aimed at analyzing cutting efforts. different types of tool. It is a quantitative research, more precisely a case study. The practical activities were carried out in the machining laboratory of the SENAI School in Araraquara. For the basis of this work, a survey was made on the tools and devices used in the CNC, since the MTConnect standard should allow the flow of data between the machine and the computer. As a conclusion, it was possible to perceive the difficulty in articulating the devices to extract useful information from the CNC machine, but the work was able to generate graphic analyzes of the machining data, according to different geometries of cutting tools. These analyzes may assist in making a decision when selecting tooling to be used in a process of machining.

Keywords: Big Data, CNC, Fanuc, MTConnect, Python.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Funcionamento do GRV IoT	41
Figura 2 – Linha de tempo	42
Figura 3 – Componentes padrão do MTConnect. Adaptado de AMT (2011)	44
Figura 4 – Cópia de arquivos .dll para o Adaptador MTConnect	45
Figura 5 – Cópia de arquivos Fwlib.h referente ao comando Fanuc	47
Figura 6 – Fita de papel perfurada	49
Figura 7 – Selo do MIT	50
Figura 8 – Padrões EIA RS-244-A e RS-358(ASCII)	51
Figura 9 – (1) Ferramenta, (2) Peça, (3) cavaco (Adaptação própria)	52
Figura 10 – Sistema de coordenadas do Torno CNC	53
Figura 11 – Função G00	55
Figura 12 – Função G01	55
Figura 13 – Função G02 e G03	56
Figura 14 – Função G71	57
Figura 15 – Função G75	58
Figura 16 – Desenho 2D da peça (AutoCad)	59
Figura 17 – Modelo 3D da peça (Inventor)	59
Figura 18 – Custo médio do disco rígido por gigabyte - unidade: Dollar)	64
Figura 19 – Os 3Vs do Big Data	67
Figura 20 – O mundo é rico em dados, mas pobre em informação	70
Figura 21 – Exemplo de clusterização de dados.	72
Figura 22 – Execução de execução do algoritmo K-means.	73
Figura 23 – Passo final: Estabilização dos grupos.	73
Figura 24 – Perguntas direcionadas pelo processo de visualização.	75
Figura 25 – Dados médios de temperatura e precipitação.	75
Figura 26 – Cabo de Rede Crossover	76
Figura 27 – Configuração do canal de comunicação do CNC.	76
Figura 28 – Configuração do IP e Máscara de rede.	77
Figura 29 – Teste de conectividade.	77
Figura 30 – Execução do adaptador MTConnect	78
Figura 31 – Arquivo adapter.ini	78
Figura 32 – Arquivo parcial de texto gerado pelo Adaptador <i>MTConnect</i>	79
Figura 33 – Visão parcial do novo DataFrame.	82

Figura 34 – Elementos do DataFrame.	83
Figura 35 – Valor sentinela NaN	84
Figura 36 – Centro de Torneamento Romi GL240M Comando Fanuc Oi-TD.	87
Figura 37 – Dimensões Romi GL240M	88
Figura 38 – Layout de trabalho para torre padrão VDI	88
Figura 39 – Layout de trabalho para torre padrão VDI com acionamento axial e radial	89
Figura 40 – Disco porta-ferramentas	89
Figura 41 – Suporte e buchas para ferramentas	90
Figura 42 – Comando Fanuc Oi-TD	91
Figura 43 – Centro de Usinagem Romi D800.	91
Figura 44 – Estrutura Centro de Usinagem Romi D800	92
Figura 45 – Conjunto do cabeçote.	93
Figura 46 – Conjunto do cabeçote.	94
Figura 47 – Direção dos movimentos de corte no torneamento.	95
Figura 48 – Tipos de pastilhas para torneamento.	97
Figura 49 – <i>DataFrame</i> 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).	100
Figura 50 – <i>DataFrame</i> 2: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).	100
Figura 51 – Dados Nulos (NaN). Fonte pessoal	101
Figura 52 – <i>DataFrame</i> 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio sem NaN).	101
Figura 53 – <i>DataFrame</i> 2: Gráfico de linha (Usinagem em vazio sem NaN).	102
Figura 54 – <i>DataFrame</i> 1: início e final da usinagem.	103
Figura 55 – <i>DataFrame</i> 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).	103
Figura 56 – <i>DataFrame</i> 1: Valores baixos para G00.	104
Figura 57 – <i>DataFrame</i> 2: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).	105
Figura 58 – <i>DataFrame</i> 2: Valores baixos para G00.	105
Figura 59 – <i>DataFrame</i> 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio vs carga do fuso).	106
Figura 60 – <i>DataFrame</i> 1: Variável S1load vs variável S1speed.	107
Figura 61 – <i>DataFrame</i> 3: Gráfico de linha (Tempo de usinagem vs Carga do Fuso).	108
Figura 62 – <i>DataFrame</i> 3: Tempo de usinagem vs Carga do Fuso.	108
Figura 63 – <i>DataFrame</i> 4: Gráfico de linha (Tempo de usinagem vs Carga do Fuso).	109
Figura 64 – <i>DataFrame</i> 4: Tempo de usinagem vs Carga do Fuso.	109
Figura 65 – <i>DataFrame</i> 3 e 4: Gráfico de linha (Tempo de usinagem vs Carga do Fuso).	110
Figura 66 – Resumo estatístico dos <i>DataFrames</i> 3 e 4.	110
Figura 67 – Amostra de aço SAE 1045.	119
Figura 68 – Microestrutura via MO do aço SAE 1045 com aumentos de 100x em (a), 200x em (b) e 500x em (c). Ataque: Nital 2%.	122
Figura 69 – Diagrama de equilíbrio Fe-C.	123
Figura 70 – Região do diagrama de equilíbrio Fe-C.	123
Figura 71 – Ferramenta 1.	141

Figura 72 – Ferramenta 2	149
------------------------------------	-----

LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 1 – Ciclo de Faceamento G75.	58
Código-fonte 2 – Ciclo de desbaste e acabamento.	60
Código-fonte 3 – Carregando as bibliotecas <i>Pandas</i> e <i>Matplotlib</i>	80
Código-fonte 4 – Criando nova tabela de dados em Python.	81
Código-fonte 5 – Convertendo dados tipo <i>object</i> para <i>float</i>	84
Código-fonte 6 – Variáveis <i>block</i> e <i>path_position</i>	102
Código-fonte 7 – Usinagem em Vazio 1	127
Código-fonte 8 – Usinagem em Vazio 2	134
Código-fonte 9 – Ciclo de Faceamento G75 (Ferramenta 1).	141
Código-fonte 10 – Ciclo de Faceamento G75 (Ferramenta 2)	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química da amostra do aço (%p.).	121
Tabela 2 – Valores de dureza Brinell (HB).	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>Big Data</i>	Estuda como tratar, analisar e obter informações a partir de conjuntos de dados grandes demais para serem analisados por sistemas tradicionais
<i>MTConnect</i>	Padrão de comunicação para troca de dados entre diferentes máquinas e equipamentos
Acatech	Academia Alemã de Ciências da Engenharia
AMBEV	<i>Americas' Beverage Company</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CPS	Cyber-Physical System
FANUC	Fuji Automatic Numerical Control
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FOCAS	<i>Fanuc Open CNC Application Programming Interface Specification</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HSSB	<i>High Speed Serial Bus</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
MECAI	Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NC	<i>Numerical Control</i>
PMC	<i>Programmable Machine Control</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SHDR	<i>Simple Hierarchical Data Representation</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Objetivos da Dissertação	31
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	31
1.1.2	<i>Objetivo Específico</i>	31
1.2	Contexto do Trabalho	32
1.3	Metodologia da Pesquisa	35
1.4	Estrutura da dissertação	36
2	PADRÃO DE COMUNICAÇÃO	37
2.1	Protocolo proprietário FOCAS	37
2.2	Padrão MTConnect	38
2.3	Dispositivos suportados e infraestrutura	39
2.4	MTConnect e IoT	40
2.4.1	<i>Linha de tempo do padrão MTConnect</i>	41
2.5	Funções básicas do MTConnect	43
2.6	Adaptador MTConnect	44
2.6.1	<i>Configurando o Adaptador MTConnect</i>	45
3	UTILIZAÇÃO DO CNC NA INDÚSTRIA 4.0	49
3.1	Controle numérico computadorizado	49
3.1.1	<i>Sistema de Coordenadas do Torno CNC</i>	53
3.1.2	<i>Estrutura do Programa CNC</i>	53
3.1.3	<i>Funções preparatórias</i>	54
3.1.4	<i>Função G71 – Ciclo de desbaste longitudinal</i>	57
3.1.5	<i>Função G75 – Ciclo de faceamento</i>	58
3.1.6	<i>Programa CNC</i>	58
3.2	Peça do Trabalho	59
3.2.1	<i>Ciclos de Desbaste G71 e Acabamento G70</i>	60
3.3	Big Data e chão de fábrica	61
4	MINERAÇÃO E ANÁLISE VISUAL DOS DADOS	69
4.1	Mineração dos dados	69
4.2	Clusterização de Dados	71
4.3	Visualização de dados	74

4.4	Configuração do comando 0i-TD	76
4.4.1	Utilização da linguagem Python	80
4.4.2	Carregando as Bibliotecas	80
4.4.3	Dicionário de dados	81
4.4.4	Convertendo tipos de dados	84
5	MÁQUINAS E FERRAMENTAS	87
5.1	Torno Romi GL240M	87
5.1.1	Características do Comando Fanuc 0i-TD	90
5.1.2	Centro de Usinagem Romi D800	91
5.1.3	Especificações Técnicas	92
5.1.4	Eixo-árvore	93
5.1.5	Eixo X	93
5.2	Princípio de Corte dos Metais	94
5.2.1	Tipos de Movimentos	94
5.2.2	Direção dos Movimentos	95
5.2.3	Velocidades	96
5.3	Pastilha para Torneamento	96
5.3.1	Metal duro	97
5.3.2	Aplicação de Coberturas PVD e CVD	97
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
6.0.1	Usinagem em Vazio (Xload)	99
6.0.2	Dicionário de dados em Python.	102
6.0.3	Usinagem em Vazio (S1load)	106
6.1	Usinagem efetiva (S1load)	107
7	CONCLUSÕES	111
7.0.1	Conclusões Finais	111
7.0.2	Trabalhos futuros	113
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICE A ENSAIOS E ANÁLISES DO AÇO SAE 1045	119
A.1	Identificação das amostras	119
A.2	Metodologia	120
A.2.1	Retirada e preparação das amostras	120
A.2.2	Espectroscopia química	120
A.2.3	Microscopia ótica (MO)	120
A.2.4	Ensaio de dureza Brinell (HB)	121

A.3	Resultados	121
A.3.1	<i>Espectroscopia química</i>	121
A.3.2	<i>Microscopia ótica (MO)</i>	122
A.3.3	<i>Ensaio de dureza Brinell (HB)</i>	124
A.4	Conclusões das análises do aço SAE1045	125
APÊNDICE B	FACEAMENTO G75: USINAGEM EM VAZIO	127
B.1	Arquivo de dados 1: Usinagem em Vazio	127
B.2	Arquivo de dados 2: Usinagem em Vazio	134
APÊNDICE C	FACEAMENTO G75: FERRAMENTA 1	141
C.0.1	<i>Programa CNC Ferramenta 1</i>	141
C.1	Arquivo de dados G75: Ferramenta 1	142
APÊNDICE D	FACEAMENTO G75: FERRAMENTA 2	149
D.0.1	<i>Programa CNC Ferramenta 2</i>	149
D.1	Arquivo de dados G75: Ferramenta 2	150

INTRODUÇÃO

Com a chegada da 4^o revolução industrial, as empresas vem sofrendo significativas transformações estimuladas pelo surgimento de novas tecnologias e necessidade de manter-se competitivas. Em países como a Alemanha e Estados Unidos, as máquinas já estão tomando decisões diretamente do chão de fábrica e o Brasil também vem buscando alternativas para melhorar a produção e competitividade através dessa nova revolução industrial. Para que esta "revolução"aconteça, é necessário investir na formação profissional. Com este intuito é possível contar com diferentes institutos, entre elas o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), instituto no qual atuo.

Segundo o Portal da Indústria¹, o SENAI, tem a importante missão de *"Promover a educação profissional e tecnológica, a inovação e a transferência de tecnologias industriais, contribuindo para elevar a competitividade da indústria brasileira"*. O SENAI é o maior complexo profissional da América Latina e está entre os cinco maiores do mundo, e desde 1942 contribuiu para a formação de mais de 64 milhões de pessoas no Brasil.

Para melhorar a competitividade nas empresas, o SENAI incentiva o processo de inovação fornecendo consultoria e serviços técnicos e tecnológicos, dessa forma, proporciona uma expressiva melhoria na competitividades das empresas brasileiras. Além da formação oferecida pelo SENAI, é possível citar algumas importantes iniciativas que visam articular a formação acadêmica às demandas da indústria, entre elas o MECAI Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria (MECAI).

Com o objetivo de atender a demanda crescente por uma formação profissional voltada para a indústria, o mestrado profissional propicia a formação de especialistas e a articulação de uma formação acadêmica a realidade do mercado de trabalho, com o propósito de abordar temas que envolvam o mundo da indústria, colocando em prática todo o conhecimento adquirido na

¹ Portal da indústria. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/senai/institucional/missao-e-visao/>>. Acesso em: 30 Novembro 2017.

universidade (USP, 2017), desta forma, o mestrado MECAI tem a importante função de articular teoria e prática .

Esta articulação proposta pelo MECAI traz uma maior proximidade com o setor produtivo, acarretando uma melhoria na competitividade, impulsionando os avanços tecnológicos e ampliando a qualidade dos produtos, neste contexto, o presente trabalho evidencia às especificidades e objetivos descritos neste programa, uma vez que, de acordo com a revista pesquisa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) ² *"Mestrado profissional é alternativa para quem deseja aplicar conhecimento na resolução de problemas específicos do mercado de trabalho"*,

Este trabalho está relacionado com a indústria 4.0 e neste contexto é preciso analisar o grande volume de informações gerados pelo chão de fábrica, com o propósito de buscar mais eficiência produtiva e competitividade .

O processo de usinagem gera uma grande riqueza de dados, que podem ser medidos a cada milissegundos, no entanto muitas empresas acreditam que para estarem preparadas para a indústria 4.0 precisam fazer um grande investimento em máquinas, equipamentos ou até modificar o *layout* atual de suas instalações para atender a nova revolução industrial.

Desde a primeira revolução industrial, as transformações tecnológicas vêm ocorrendo muito rapidamente em nossas vidas, especialmente na maneira de produzir novos produtos, neste sentido importantes invenções foram propostas impulsionando todo o setor produtivo (ANDERY *et al.*, 1996).

As máquinas de usinagem conseguem gerar uma grande quantidade de informações durante o processo de fabricação de uma peça. Muitas empresas não aproveitam as informações geradas pelas máquinas, pois na maioria das vezes, falta um sistema que faça leitura dos dados para uma posterior análise e tomada de decisão, com o propósito de melhorar o processo ou o produto.

Atualmente fala-se muito em fabricação digital, que representa uma abordagem integrada para a produção e voltada para um sistema informatizado e o aumento da quantidade e qualidade dos sistemas computacionais nas fábricas, viabilizou a mudança para a fabricação digital. A partir do momento em que a utilização de máquinas automatizadas tornou-se mais abrangente, foi indispensável simular e analisar as máquinas e ferramentas com o objetivo de melhorar o processo de fabricação.

No ambiente de chão de fábrica existe uma grande diversidade de equipamentos, que dificulta a comunicação e a troca de informações entre eles. Com o propósito de criar um padrão de comunicação aberto que permita a conectividade com a Internet e o equipamento de produção, foi desenvolvido Padrão de comunicação para troca de dados entre diferentes

² Revista Pesquisa FAPESP. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/06/20/foco-no-mercado/>> Acesso em: 20 outubro 2017.

máquinas e equipamentos (*MTConnect*). A utilização do padrão *MTConnect* tende a se tornar não somente crescente, mas fundamental na área industrial.

Um dos pilares de sustentação para a indústria 4.0 é o *Big Data*, que representa um termo muito utilizado atualmente para classificar um grande volume de dados que está presente em nosso cotidiano. No entanto é preciso fazer uma análise bastante cuidadosa dos dados e extrair informações úteis para as empresas.

1.1 Objetivos da Dissertação

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é utilizar o protocolo de comunicação *MTConnect* para extração dos dados de usinagem do controle numérico para uma análise visual dos dados gerados visando comparar qual ferramenta de corte gera a menor solicitação de carga dos eixos da máquina CNC durante a usinagem de uma peça.

1.1.2 Objetivo Específico

O objetivo específico deste trabalho é utilizar o padrão de comunicação *MTConnect* para a extração dos dados de usinagem gerados pela máquina CNC, modelo Romi GL240 com comando CNC FANUC 0i-TD e verificar a carga dos eixos da máquina CNC em função de diferentes geometrias de ferramentas de corte.

As ferramentas de corte utilizadas neste trabalho são de uso comum nas atividades da escola SENAI, e a partir deste momento serão chamadas de "Ferramenta A" e "Ferramenta B".

Foram estabelecidos os seguintes passos para alcançar os objetivos:

- Compilar o adaptador *MTConnect* para o comando CNC FANUC 0i-TD através do encapsulamento dos métodos fornecidos pela API *Fanuc Open CNC Application Programming Interface Specification* (FOCAS) da empresa FANUC.
- Extrair os dados de usinagem para gerar as análises visuais.
- Utilizar o programa *Python* e criar uma análise visual dos dados gerados pelo CNC.

1.2 Contexto do Trabalho

A fim de entender a importância de um protocolo de comunicação padrão entre as máquinas, se faz necessário expor o contexto na qual a indústria 4.0 está inserida, exibindo uma retrospectiva desde a primeira revolução industrial até o surgimento da indústria 4.0, desta forma será possível compreender as transformações ocorridas e o seu impacto no chão de fábrica.

A primeira revolução industrial ocorreu entre os anos de 1760 até 1840 e foi influenciada pela construção de máquinas a vapor e ferrovias, sendo responsável pelo início da produção mecânica com a invenção do tear mecanizado. Esta revolução industrial trouxe um grande crescimento populacional de maneira sustentável e o trabalho braçal começou a ser substituído pelo trabalho mecanizado (SCHWAB, 2016).

Ainda segundo o autor, a palavra revolução representa as grandes mudanças que ocorreram em nossa sociedade e nos sistemas econômicos. Ele afirma também que:

Atualmente, enfrentamos uma grande diversidade de desafios fascinantes; entre eles, o mais intenso e importante é o entendimento e a modelagem da nova revolução tecnológica, a qual implica nada menos que a transformação de toda a humanidade (SCHWAB, 2016, p.14).

Corroborando com tal ideia, Lucas (2002) afirma que após a primeira revolução industrial diversos avanços tecnológicos ocorreram, com a automatização das atividades que antes eram feitas de forma manual, passando a influenciar a partir de então a maneira de viver das pessoas (LUCAS, 2002).

Embora a primeira revolução industrial tenha iniciado na década de 1760, ela foi percebida somente na década de 1830. (Neste estudo, é apresentado as datas que muitos estudiosos utilizam, e assim tentar traçar uma linha do tempo para as transformações sofridas no contexto industrial (HOBBSAWM, 2015)).

A segunda revolução industrial ocorreu por volta de 1850 e perdurou até a primeira guerra mundial, ela representou um significativo aumento para os aspectos tecnológicos e econômicos, com a fabricação em larga escala de produtos, a utilização da energia elétrica, a invenção do telefone em 1876, do rádio em 1898 entre outras (AZEVEDO, 2017).

Nesta segunda fase da revolução industrial, houve algumas mudanças menos significativas, como a subdivisão de processos de fabricação maiores em menores, simplificando o processo de manufatura e num segundo momento a fabricação de bens de consumo para uso pessoal em larga escala, surgindo assim os primeiros processos pioneiros de automação, com intervenções mínimas do homem no processo de produção (HOBBSAWM, 2000).

Por sua vez, a terceira revolução industrial trouxe diversas mudanças significativas para o trabalho e o modo de viver das pessoas, a partir dela, se observa uma preocupação com a crescente utilização da energia renovável, como o hidrogênio e outras alternativas menos poluentes para o

meio ambiente. O uso da internet para a troca de informações entre os continentes e substituição dos combustíveis tradicionais por outros menos poluentes, como sistemas elétricos e células de combustíveis (RIFKIN, 2012), foram características marcantes deste período.

Segundo Schwab (2016), a terceira revolução industrial ocorreu a partir de 1960 e ficou conhecida como revolução digital, graças à utilização de semicondutores. Várias descobertas marcaram a nova revolução industrial, como por exemplo:

- 1960 ocorre a utilização de *mainframe* para processar um grande volume de dados;
- 1970 a 1990: utilização do computador pessoal;
- a partir de 1990: utilização da internet.

A quarta revolução industrial foi caracterizada pelo uso de sensores instalados em máquinas e aplicações que, através da inteligência artificial, tentam encontrar padrões nos dados, com o propósito de melhoria no processo ou produto, aumentando assim a competitividade das empresas. Essa nova revolução industrial trouxe mudanças importantes quando olhamos para a terceira revolução industrial e permite uma maior mobilidade e integração com os recursos existentes, tais como: computadores, programas e internet (SCHWAB, 2016).

Os sensores instalados nas máquinas fornecem valiosas informações que colaboram para essa nova revolução digital, sendo possível através deles monitorar, comparar desempenhos diversos ou otimizar processos.

Neste cenário, surgiu o conceito de indústria 4.0, ele foi criado na Alemanha em 2011 como iniciativa do governo local, apoiando um plano de ação estratégico de alta tecnologia até o ano de 2020 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2017).

Suas recomendações iniciais de implementação foram formuladas pelo Grupo de Trabalho *Industrie 4.0*, no período de janeiro a outubro de 2012 sob a coordenação da Academia Alemã de Ciências da Engenharia (Acatech).

O Grupo de Trabalho foi presidido pelo Dr. Siegfried Dais, vice-presidente do Conselho de Administração da Robert-Bosch GmbH e do Prof. Dr. Henning Kagermann, presidente da Acatech. As recomendações foram apresentadas como um relatório ao governo alemão na implementação da Aliança de Pesquisa da Indústria e Ciência, com Fórum realizado no Centro de Tecnologia de Produção - Berlin em 2 de outubro de 2012.

O governo alemão tem almejado melhorar os recursos tecnológicos desde 2006, com incentivo à pesquisa e à inovação, por acreditar que isto garanta uma maior competitividade para o país.

Segundo a revista EXAME³, o Brasil está pronto para a indústria 4.0 e diversas empresas vem buscando informações para acompanhar a nova revolução industrial, um exemplo desta utilização é a *Americas' Beverage Company* (AMBEV), que desde 2015, fez alterações em seu processo de fabricação adotando um sistema de automação para melhorar o processo que controla a variação de temperatura durante o resfriamento da cerveja economizando energia em suas fábricas.

De acordo com [Lorenzato \(2016\)](#)

Nesta 4ª revolução industrial teremos desde novos equipamentos de chão de fábrica, chamados de Cyber-Physical System (CPS), mas que envolve toda uma integração de informações, que nascem do chão de fábrica e vai realmente até o consumidor final desses produtos, fechando o ciclo inclusive da sustentabilidade, da redução de custos, da utilização correta dos recursos naturais e da economia de energia.

Essas mudanças estão baseadas em quatro pilares estratégicos:

1. Computação em nuvem;
2. Big Data;
3. Mobilidade;
4. Segurança.

[Lorenzato \(2016\)](#) comenta ainda que:

Outro recurso da indústria 4.0 é a chamada de internet das coisas (IoT), ela representa também uma complementação para os pilares estratégicos da indústria 4.0, que estruturam a captura das informações que vêm do IoT ou qualquer outro sensor, inclusive dos *Cyber Physical System* e passa por uma camada de integração dessas informações chamada "processamento", inclusive com processamento em nuvem, que vai estar interligado com a camada de compartilhamento de informações.

³ Revista EXAME online. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/o-brasil-esta-pronto-para-a-industria-4-0/>> Acesso em: 26 Outubro 2017

1.3 Metodologia da Pesquisa

Escolher a metodologia de uma pesquisa é mais do que descrever os instrumentos que serão utilizados, é preciso pensar no problema (ou hipótese) que se deseja resolver e como é possível chegar a uma resposta que seja relevante para ele, a resposta obtida deverá ser a melhor, de acordo com as circunstâncias nas quais o problema se apresenta e por não existir uma resposta simples, é preciso levar em conta que a pesquisa faz um recorte da realidade e que precisa de procedimentos e instrumentos que a aproximem dela e de um referencial teórico que permita a sua análise. (FAZENDA *et al.*, 2002) e (LUNA, 2002)

Para Chizzotti (2003), a pesquisa investiga o mundo em que o homem vive e a ele próprio, para isto recorre à observação e à reflexão sobre os problemas e à experiência passada e atual na solução destes problemas. Esta proposta de pesquisa tem como objetivo melhorar uma situação vivenciada pelos profissionais da área de Metalmeccânica que utilizam a máquina de CNC para fabricação de peças que são produzidas por ferramentas de corte.

A pesquisa proposta neste projeto será um estudo de caso que terá como foco a leitura e análise dos dados gerados pela máquina CNC, para comparar o desempenho entre ferramentas de corte de diferentes fabricantes, utilizando a biblioteca proprietária FOCAS (FANUC, 2020a) do comando Fanuc e o protocolo de comunicação *MTconnect*.

Para Andre (2008), o que define a opção metodológica pelo estudo de caso é o conhecimento que ele gerará, por isso a questão básica ao se adotar esta metodologia é o que se aprende ao estudar determinado caso. O estudo de caso tem como característica básica focalizar uma situação pelo que ela revela sobre certa temática, de uma maneira completa e densa. (CRESWELL, 2007) complementa esta afirmação ressaltando que o estudo de caso envolve uma descrição detalhada da situação que se deseja investigar, seguida por uma análise de dados que permeiam o objeto de estudo.

O conhecimento gerado pelo estudo de caso é mais concreto, porque tem a sua base numa experiência real, é mais contextualizado, porque parte de uma situação existente e pode ser de tipos diferentes, dependendo do objetivo a ser alcançado.

Segundo Andre (2008), o estudo de caso permite que se conheça tão bem um problema, ou uma situação a ponto de poder fornecer informações “para medidas de natureza prática” (p.36), por isso o caso escolhido deve ser digno de ser estudado, seja por ser representativo de outros, seja por ser distinto.

De acordo com Gil (2002), os critérios de seleção e o número de casos dependem dos objetivos da pesquisa. Nesta pesquisa, utilizaremos apenas um caso, que será testado em uma máquina Modelo Romi GL240M com comando da FANUC modelo 0i-TD. (ROMI, 2020)

1.4 Estrutura da dissertação

O capítulo 2, aborda o protocolo FOCAS utilizado para acessar as informações contidas no CNC e também o padrão de comunicação *MTConnect* como uma alternativa para facilitar a coleta de dados do chão de fábrica.

O capítulo 3 apresenta os fundamentos do CNC e o sistema de coordenadas utilizado na programação do comando FANUC 0i-TD. Também serão abordados a estrutura do programa CNC segundo a norma ISO 6983 e o desenho da peça utilizada no processo de coleta de dados da usinagem e finalmente mostrando a relação entre o *Big Data* e chão de fábrica.

O capítulo 4 discute alguns conceitos sobre a mineração e análise visual dos dados, clusterização e utilização da linguagem *Python* como uma ferramenta que auxilia na descoberta de padrões escondidos nos dados. Temos também a abordagem sobre a configuração utilizada no comando FANUC 0i-TD, assim como a configuração do protocolo de internet (IP) (FANUC, 2020b).

No capítulo 5 são apresentados algumas características das máquinas que podem fornecer dados de usinagem para comparar o desempenho entre diferentes tipos de ferramentas de corte. Também serão descritos alguns conceitos básicos para contextualizar o princípio de corte dos metais e os tipos de movimentos que ocorrem durante a usinagem da nossa peça.

O capítulo 6 será destinado a apresentação dos resultados atingidos em função das análises dos dados de usinagem para o trono GL240M com comando FANUC 0i-TD.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e também as propostas para pesquisas futuras.

Finalmente é apresentada a bibliografia e apêndices utilizados neste trabalho.

PADRÃO DE COMUNICAÇÃO

Um dos desafios da indústria 4.0 é garantir que o enorme volume de dados seja capturado do chão de fábrica com qualidade e de forma padronizada. Neste capítulo será discutido um padrão de comunicação que pode facilitar a leitura dos dados das máquinas e dos equipamentos nas empresas de forma simples e econômica.

2.1 Protocolo proprietário FOCAS

O protocolo proprietário do comando Fanuc, o FOCAS (*Fanuc Open CNC Application Programming Interface Specification*) é composto um conjunto de arquivos de bibliotecas (.dll) que podem ser usadas para acessar todas as informações contidas no comando CNC da FANUC e habilitar uma ampla variedade de aplicativos e extensões.

Os dados disponíveis são:

- Status do CNC (em funcionamento, ocioso, alarme);
- Informações sobre contagem de peças;
- Detalhes do Programa (Nome, número, tamanho, data de modificação);
- Carga dos eixos e dados posicionais;
- Ferramenta e compensações de trabalho;
- Alarmes;
- Dados do Controle de Máquina Programável (PMC);
- Taxa de avanço;
- Dados Modais.

Segundo a Fanuc ¹, a biblioteca FOCAS oferece todas as facilidades que o usuário

¹ Portal da FANUC. Disponível em: <<http://www.fanuc.eu/pt/pt/cnc/ferramentas-software-cnc>>. Acesso em: 03 Abril 2018.

precisa para desenvolver aplicativos que permitam a comunicação com o comando CNC da Fanuc, mediante o uso da Ethernet ou *High Speed Serial Bus* (HSSB).

Portanto é por meio do FOCAS que a Fanuc expõe seus dados proprietários para desenvolvedores ou aplicativos de terceiros, mas a maioria dos construtores de controle tem uma arquitetura totalmente fechada ou acesso pago a bibliotecas ou API (Interface de Programação de Aplicativos) .

É possível desenvolver um adaptador *MTConnect* para o comando CNC Fanuc, por meio de técnicas de encapsulamento da biblioteca FOCAS (OLIVEIRA, 2017).

No entanto além de adquirir a biblioteca é preciso que a máquina tenha o opcional FOCAS instalado, caso contrário precisará de um investimento na aquisição e instalação de opcionais diretamente com a Fanuc.

O comando o Fanuc 0i-TD possui o opcional FOCAS e o acesso a esse servidor é possível através de uma rede Ethernet utilizando protocolo TCP/IP e API FOCAS1/Ethernet.

Esse servidor é localizado na rede e configurado com IP 192.168.1.10 e porta 8193. A função desta configuração é permitir o acesso às funções do protocolo FOCAS e obter acesso aos dados gerados pelo CNC.

Para que o computador receba os dados do comando Fanuc é preciso compilar o adaptador *MTConnect* juntamente com a biblioteca FOCAS, com o objetivo de coletar dados relevantes da máquina Romi **GL240M** e comando CNC Fanuc **0i-TD**

A biblioteca FOCAS e adaptador *MTConnect* foram compilados com o aplicativo Microsoft Visual Studio 2010 na linguagem C++ e esta compilação gerou um arquivo chamado "fanuc_0id.exe". Neste novo arquivo as funções do protocolo FOCAS correspondem a um método que são responsáveis em requisitar informações como: Avanço e posição atual dos eixos, rotação do fuso, carga dos eixos.

2.2 Padrão MTConnect

O padrão *MTConnect*² foi lançado em 2008, com o objetivo de trazer os benefícios da "manufatura avançada" de fabricação mais difundidos por meio da criação de uma linguagem comum aberta e livre de *royalties*, para conectar dispositivos e softwares de aplicações. Nos anos que se seguiram, o padrão cresceu constantemente, tanto em termos de ampliação tecnológica, quanto na adoção do padrão pelos usuários finais. Os esforços dedicados das partes interessadas do *MTConnect Institute* para aprimorar e promover o padrão, sustentaram esse crescimento.

O padrão de comunicação *MTConnect*, permite a comunicação entre equipamentos com a facilidade de acesso aos dados do dispositivo de fabricação.

² MTConnect Institute. Disponível em: <<http://www.mtconnect.org>>. Acesso em 27 outubro 2017.
Tradução livre

O *MTConnect* é um padrão de tecnologia de fabricação aberto que usa tecnologias de comunicações via Internet comprovadas e isentas de *royalties* como base para permitir que os fornecedores de tecnologia de fabricação e os clientes se comuniquem com segurança e facilidade.

O *MTConnect* padroniza os dados do dispositivo, na execução de máquinas, controles, pacotes de sensores ou softwares que suportam o padrão *MTConnect*. Significa que os dados coletados estarão disponíveis em formato XML (*eXtensible Markup Language*) com definições de itens de dados que não variam de acordo com o fabricante.

2.3 Dispositivos suportados e infraestrutura

Alguns dispositivos dos seguintes fabricantes podem produzir dados no formato *MTConnect* e as opções específicas de conectividade, os requisitos de configuração e o número/tipo de itens de dados suportados variam de acordo com a configuração do dispositivo, assim como o modelo, o ano e as opções selecionadas. Como o padrão *MTConnect* é aberto e gratuito, uma grande variedade de ferramentas de conexão experimental e "aplicativos caseiros" também foram desenvolvidos.

Abaixo segue uma lista de alguns comandos compatíveis com o padrão *MTConnect*³.

- Allen-Bradley (CNC)
- Balluff
- DMG Mori Seiki
- Fagor
- **Fanuc**
- Haas
- Heidenhain
- LinuxCNC
- Mazak
- Mitsubishi
- Mitutoyo
- Okuma
- Siemens

O *MTConnect* define e estrutura os dados do dispositivo em formato XML e o transporta via HTTP (*HyperText Transfer Protocol*). O padrão é escrito para ser simples e acessível para qualquer um, mas o nível de esforço para implementação pode variar com base nos recursos existentes, no local e na base de conhecimento atual.

³ MTConnect Institute. Disponível em: <<https://www.mtconnect.org/step-2-supported-devices>>. Acesso em: 09 Julho 2019, Tradução própria.

A maioria das implementações exige que um agente *MTConnect* forneça dados e os execute a partir de um controle de máquina, PC (*Personal Computer*) separado, roteador de rede ou servidor.

A arquitetura de implementação não está especificada no padrão *MTConnect*, o que significa pesquisar e planejar antes de investir os recursos financeiros na compra ou instalação de qualquer software.

Dados padronizados no formato *MTConnect* podem satisfazer muitas necessidades diferentes e suportar uma grande variedade de aplicações. Empresas especializadas em programação de software podem querer desenvolver soluções sofisticadas baseadas em *MTConnect*.

Na maioria dos casos, é preciso alguma ajuda externa para abordar funções específicas ou manter uma implementação econômica e uma compreensão básica de XML, máquinas-ferramentas, HTTP e redes é extremamente útil.

Para o presente trabalho foi utilizada a configuração do adaptador *MTConnect* e conforme Capítulo 4.4, foi gerado o arquivo de texto utilizando o programa Putty, em seguida a linguagem Python foi aplicada para as análises dos dados de usinagem.

2.4 MTConnect e IoT

Segundo [Silva et al. \(2016\)](#), o termo IoT (*Internet of Things*) refere-se ao modo como os dispositivos físicos estão conectados e como ocorre a comunicação entre a internet e o mundo físico.

Segundo [Sundmaeker et al. \(2010\)](#) novas aplicações podem ser otimizadas e criadas quando conectadas com diferentes recursos numa rede através da Internet, propiciando uma melhor comunicação entre usuários e dispositivos.

A Internet das Coisas, também está muito interessada nos dados disponíveis do chão de fábrica e nesse contexto o *MTConnect* apresenta-se como um padrão confiável de comunicação.

No Brasil, a empresa **GRV Software**⁴ possui um programa chamado de CNC Monitor, que tem como objetivo coletar e digitalizar os dados de diferentes máquinas CNC podendo transformá-los em indicadores da produção. Permite também a extração de várias informações, tais como: "modo do CNC, programa em execução, ferramentas em uso, esforço nos eixos, potenciômetros, entre outros". Todas as informações podem ser acessadas por meio de um aplicativo para celular e armazenado em nuvem.

A empresa possui também o **GRV IoT**⁵, que é um hardware que possibilita o acesso

⁴ GRV Software. Disponível em: <<https://grvsoftware.com.br/industria-4-0/cnc-monitor/>>. Acesso em: 01 agosto 2019.

⁵ GRV Software. Disponível em: <<http://grvsoftware.com.br/producao-enxuta/grv-iot/>>. Acesso em: 01 agosto 2019.

automático às informações das máquinas, disponibilizando dados relativos à produtividade e à manutenção. Os dados podem ser exportados e enviados diretamente para um aplicativo (disponível para Android e IOS). Na Figura 1 é ilustrado o funcionamento do GRV IoT.

Figura 1 – Funcionamento do GRV IoT

Fonte: <<http://grvsoftware.com.br/producao-enxuta/grv-iot/>>

De acordo com a empresa, o sistema **GRV IoT** simplifica o acesso às informações tornando-as mais eficientes e totalmente em nuvem e em tempo real.

O **GRV IoT** apresenta as seguintes características:

- Coleta de dados: Ao instalar o sensor GRV IoT ele começa a coletar dados da máquina, que são transmitidos através do *WI-FI* para o *GRV Cloud*;
- *GRV Cloud*: Os dados são armazenados de forma segura na *GRV Cloud* e enviados para outros dispositivos;
- Análise dos dados: criar gráficos e painéis baseados nos dados coletados;
- *Mobile*: Leitura do *QR Code* através do aplicativo para celular para acessar os dados da máquina.

2.4.1 Linha de tempo do padrão MTConnect

Em 2006, a AMT (*Association for Manufacturing Technology*) escolheu o tema para sua reunião anual: “Fabricação na Era da Internet.” Os apresentadores de várias grandes empresas de software falaram sobre o assunto, mas duas palestras chamaram a atenção do Conselho AMT de Administração, uma de David Edstrom e outra de David A. Patterson.

Na primeira palestra, David Edstrom (da Sun Microsystems) falou sobre como a Internet poderia conduzir mudanças drásticas na indústria de máquinas-ferramenta. A segunda palestra foi apresentada pelo Dr. David A. Patterson (da UC Berkeley), que discutiu a criação de uma base de fabricação americana próspera para o século 21. Ambas as palestras foram importantes para motivar um futuro promissor para a fabricação de produtos.

O desafio da AMT estava em adotar padrões de interoperabilidade entre os fabricantes de máquinas para que os clientes pudessem monitorar várias marcas e modelos de máquinas CNC por meio de uma interface comum.

O Conselho de Administração da AMT discutiu este desafio e, em 2007, se esforçou para determinar sua viabilidade, iniciando assim o desenvolvimento do padrão *MTConnect*.

Em 2008, a AMT lançou a primeira versão do padrão *MTConnect*. Então, em 2009, o Instituto *MTConnect*, que é uma organização sem fins lucrativos, foi criado para promover o desenvolvimento do padrão *MTConnect* e publicar materiais relacionados, desta forma é possível afirmar que esse novo padrão de comunicação surgiu de uma necessidade sentida no chão da fábrica a fim de melhorar a competitividade das indústrias (MTCONNECT..., 2019).

A organização do *MTConnect* inclui um Conselho de Curadores, um Grupo Consultivo Técnico que também é chamado MTCTAG, um Comitê Diretor Técnico, bem como vários grupos de trabalho para promover o padrão em áreas tecnológicas específicas.

A linha de tempo conforme mostra a Figura 2, ilustra vários sucessos do Instituto *MTConnect* e do padrão *MTConnect*.

Figura 2 – Linha de tempo

Fonte: <<https://goo.gl/4xjvb3>> Tradução e adaptação própria

2.5 Funções básicas do MTConnect

O padrão MTConnect é um protocolo projetado para monitorar e analisar os dados gerados pelas máquinas do chão de fábrica e também chamado de padrão somente leitura, devido ao fato de apenas extrair os dados dos dispositivos e não efetuar a gravação de dados em um dispositivo.

O padrão MTConnect define rótulos de dados específicos, pois cada fabricante de dispositivos usa um vocabulário próprio que dificulta a troca de informações entre diferentes fabricantes de máquinas e equipamentos. O padrão é um modelo de informações e vocabulário semântico normalizado que não varia de acordo com o fabricante. A tradução do vocabulário nativo para o padrão é feita por um adaptador que pode ser um software em execução no dispositivo ou um hardware. Um agente MTConnect fornece dados em um formato legível para a máquina (MTCONNECT, 2020).

O adaptador é análogo a um tradutor e pode ser um software (opcional), ou um hardware, que fornece um link ou uma conversão da fonte de dados proprietários do dispositivo para a definição dos dados do *MTConnect*. O adaptador registra os dados do CNC e em seguida transfere as informações padronizadas para o agente. Atualmente, muitas máquinas-ferramenta já disponibilizam o padrão *MTConnect* como idioma nativo, e neste caso, o adaptador não é necessário.

O agente *MTConnect* coleta, organiza e armazena os dados do Adaptador MTConnect. Ele recebe solicitações de dados de aplicativos, processa essas solicitações e transmite os dados necessários. A função do agente e seu dicionário de dados associado são definidos pelo padrão *MTConnect* que representa a única parte do sistema de comunicação que é especificamente definida pelo padrão de comunicação.

O agente tem a função de organizar os dados coletados, convertendo os dados coletados do comando CNC para um formato XML, de acordo com a definição de um esquema padrão do protocolo MTConnect, e não depende do tipo de máquina que está sendo monitorada.

Ethernet é a tecnologia usada para conectar redes locais (*LANs*) com fio, permitindo que os dispositivos se comuniquem entre si utilizando um protocolo que representa um conjunto de regras ou linguagem de rede comum. Esta rede corresponde a conexão física entre um dispositivo (máquina-ferramenta) fornecendo os dados para o cliente (consumidor de dados), que neste caso é uma rede *Ethernet*.

A comunicação na rede utiliza o protocolo padrão HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) que é um protocolo de comunicação para transferência de hipertexto), muito utilizado em sistema de informação com vários tipos de arquivo representa a base da rede mundial de computadores (*World Wide Web*).

Na Figura 3 é ilustrada a arquitetura básica do padrão *MTConnect* utilizando uma rede

Ethernet e protocolo HTTP.

Figura 3 – Componentes padrão do MTConnect. Adaptado de AMT (2011)

Fonte: <<https://bit.ly/2ThAg5O>>. Tradução e adaptação própria.

O cliente ou aplicativo tem a função de requisitar, armazenar, manipular e exibir dados do *MTConnect*. O aplicativo inclui uma função chamada "cliente", que inicia todas as solicitações de dados do *MTConnect*. O "cliente" é uma função de software no aplicativo que realmente solicita dados do Agente e traduz esses dados no formato necessário para o aplicativo. O Adaptador coleta os dados do dispositivo (máquina/comando) e envia para o agente.

2.6 Adaptador MTConnect

Diversos fabricantes de máquinas ferramentas já estão preocupados com o padrão de comunicação *MTconnect*, que facilita a recuperação de informações dos processos de usinagens das máquinas controladas por controle numérico e já disponibilizam o novo padrão para a coleta de dados do comando CNC diminuindo assim o tempo e o custo de implementação em ambientes industriais.

No entanto há inúmeras máquinas com comandos CNC mais antigos que não disponibilizam uma interface amigável com um protocolo padrão para extração dos dados de usinagem e com isso é preciso buscar uma forma de construir um adaptador para a comunicação entre o comando e o computador.

No comando Fanuc 0i-MC os softwares opcionais não fazem parte da instalação padrão e necessitam de instalação e configuração por técnicos especializados.

O adaptador pode ser um software ou hardware e neste trabalho utilizamos um adaptador de domínio público que pode ser encontrado no GitHub (<https://github.com/mtconnect/adapter>) que é uma plataforma de hospedagem de código-fonte com licença livre.

O padrão *MTConnect* foi criado por William Sobel⁶ (Diretor de Estratégia/Co-Fundador na VIMANA) para facilitar a conectividade e a análise de máquinas-ferramenta.

O adaptador pode ser entendido como um tradutor e atualmente alguns fabricantes de máquinas-ferramenta já estão disponibilizando o padrão *MTConnect* como idioma nativo.

2.6.1 Configurando o Adaptador MTConnect

Na Figura 4 é ilustrado os arquivos devem ser copiadas antes de compilar o adaptador *MTConnect* e FOCAS. Tais procedimentos foram disponibilizados por Mike Ellis⁷ (Gerente da Fanuc America).

Figura 4 – Cópia de arquivos .dll para o Adaptador MTConnect

Fonte: Elaborada pelo autor.

O CD com a biblioteca FOCAS inclui todos os arquivos necessário para desenvolver aplicações personalizadas utilizando o sistema operacional Windows®, para comunicar-se com comando CNC da Fanuc através de uma rede Ethernet ou de HSSB (fibra ótica).

Abaixo segue a descrição dos arquivos referente a Biblioteca FOCAS1/2 para a versão 32 bits de acordo com o CD de instalação.

⁶ Disponível em: <<https://www.linkedin.com/in/wsobel>> Acesso em: 06 outubro 2019

⁷ Configuração do adaptador MTConnect: <<https://www.youtube.com/watch?v=TwHSCewjjmE>>. Acesso em: Setembro 2018

FWLIB32.DLL: Esta é uma biblioteca de funções de troca de dados entre CNC / PMC e HSSB e sistema Ethernet. Ela é uma biblioteca de vínculo dinâmico, necessária no tempo de execução do sistema HSSB e Ethernet.

FWLIBE1.DLL: Essa é a DLL para TCP / IP, chamada por FWLIB32.DLL em tempo de execução. Esta biblioteca está disponível para o FOCAS2 / Ethernet para NCGuidePro.

As bibliotecas abaixo são chamadas por FWLIB32.DLL em tempo de execução para cada tipo de comando:

FWLIB30i.DLL: comandos FS30i / 31i / 32i / 35i e PMi-A.

FWLIB150.DLL: comando FS150-B.

FWLIB15i.DLL: comando FS150i.

FWLIB160.DLL: comandos FS160 / 180-B / C, FS210-B, FS160i / 180i / 210i.

FWLIB16W.DLL: comando FS160i / 180i-W.

FWLIB0i.DLL: comando FS0i-A.

FWLIB0iB.DLL: comando FS0i-B.

FWLIB0iD.DLL: comando FS0i-D.

FWLIBPM.DLL: comandos Power Mate-H e Power Mate-D.

FWLIBPMI.DLL: comandos Power Mate i-H e do Power Mate i-D.

FWLIBNCG.DLL: FOCAS 2 para os comandos FS31i / 32i / 35i NCGuidePro.

FWLIB0DN.DLL: FOCAS2 / HSSB do comando FS0i-D NCGuidePro.

FWLIB32.LIB: A biblioteca de importação para vincular à biblioteca de janelas de dados do CNC / PMC (FWLIB32.DLL) na linguagem C / C ++.

FWPMCALM.INI: arquivo de mensagem de alarme do PMC usado pela função

FWLIB32.H: Arquivo de cabeçalho C / C ++ para funções e estruturas da janela Dados do CNC / PMC. Este arquivo é dividido para cada modelo CNC.

FWSYMBOL.H: Neste arquivo, são definidos os símbolos utilizados na função da janela de dados do CNC / PMC. Este arquivo não é dividido para cada modelo CNC.

Posteriormente, o arquivo **Fwlib32.h** também deve ser copiado para a pasta do adaptador MTConnect, tomando cuidado para escolher corretamente o caminho onde encontra-se o arquivo referente ao nosso comando Fanuc 0i-MC, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Cópia de arquivos Fwlib.h referente ao comando Fanuc

Fonte: Elaborada pelo autor.

O arquivo **Fwlib32.h** é um arquivo de cabeçalho escrito na linguagem C/C++ para funções e estruturas da janela de dados CNC / PMC. A sigla **PMC** "*Programmable Machine Control*" é a interface entre o comando CNC da Fanuc e a máquina-ferramenta.

Algumas observações sobre o arquivo **Fwlib32.h**:

1. O arquivo de cabeçalho é diferente em cada modelo do CNC;
2. O arquivo de cabeçalho para cada modelo CNC pode ser usado tanto pelo HSSB quanto pelo TCP / IP;
3. O arquivo de cabeçalho para TCP / IP é comum para o HSSB e a versão Ethernet. Este arquivo pode ser usado para todos os modelos CNC, definindo a constante.

Atualmente os comandos CNC já estão saindo com recursos voltados para a indústria 4.0, no entanto existe uma grande demanda para os comandos mais antigos e com pouco investimento é possível participar da corrida tecnológica voltada para a extração e análise de dados das máquinas-ferramenta.

O padrão de comunicação MTConnect é de vital importância para flexibilizar a comunicação entre os diferentes fabricantes de máquinas e equipamentos. Neste contexto, as empresas vem buscando maior competitividade, uma vez que o padrão MTConnect facilita a coleta dos dados que estão disponíveis na indústria 4.0.

UTILIZAÇÃO DO CNC NA INDÚSTRIA 4.0

A máquina CNC vem sendo utilizada cada vez mais com o propósito de buscar mais rapidez e competitividade para as empresas, uma vez que o computador que faz parte de um dos dispositivos da máquina CNC. O computador é responsável pelo controle de seus movimentos proporcionando mais velocidade e precisão na usinagem das peças. No entanto a indústria 4.0 exige um sistema conectado com as máquinas para aproveitar as informações geradas durante a fabricação de um determinado produto.

3.1 Controle numérico computadorizado

Fundamentalmente, quando aplicados os conceitos da indústria 4.0 nas máquinas CNC, é necessário contextualizar e conhecer melhor as características de tais máquinas e suas aplicações, já que os equipamentos dotados de um computador podem ser utilizados nas mais diversas áreas de transformação e produção de bens de consumo ou peças para a indústria em geral.

O Controle Numérico (CN) é a sigla que vem do inglês *Numerical Control* (NC) e foi impulsionado após estudos do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e patrocinada pela Força Aérea dos EUA (ANDREWS; JANEK; MEADOWS, 2014). Em parceria com a empresa Parsons de Michigan, William M. Pease e James O. McDonough, criaram em 1949 uma fresadora experimental controlada numericamente que recebia instruções através de dados codificados de uma fita de papel perfurada, conforme Figura 6.

Figura 6 – Fita de papel perfurada

Fonte: <<https://goo.gl/z5ljZO>>

Após o desenvolvimento da primeira máquina de Comando Numérico, novos avanços tecnológicos motivaram a substituição da fita perfurada pelo computador. Modernos sistemas de comunicação de dados com a máquina foram criados facilitando a aquisição de dados para análises e melhoria de processos.

A Metodologia SENAI está sistematizada em conceitos voltados para a interdisciplinaridade, contextualização e integração entre a **teoria** e a **prática**. E neste cenário, observa-se na Figura 7 o selo oficial do MIT¹, que foi adotado em 26 de dezembro de 1864 e simboliza o ideal de cooperação entre o **conhecimento** e a **prática**, que é representado por um estudioso com o livro, ao lado de um artesão na bigorna executando o trabalho manual.

O selo do MIT incorpora a filosofia educacional de William Barton Rogers e outros incorporadores do MIT, conforme declaração da proposta de 1860, intitulada "Objetos e Plano de um Instituto de Tecnologia".

*With the view of securing the great industrial and educational benefits (...), it is proposed to establish, on a comprehensive plan, an Institution devoted to the Practical Arts and Sciences, to be called the MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, having the triple organization of a Society of Arts, a Museum or Conservatory of Arts, and a School of Industrial Science and Art.*²

Figura 7 – Selo do MIT

Fonte: <<https://libraries.mit.edu/mithistory/institute/seal-of-the-massachusetts-institute-of-technology/>>

¹ Selo do MIT: Disponível em: <<https://libraries.mit.edu/mithistory/institute/seal-of-the-massachusetts-institute-of-technology/>>. Acesso em: 29 Novembro 2017.

² Tradução livre: Objects and Plan of an Institute of Technology: Com a visão de assegurar os grandes benefícios industriais e educacionais (...), propõe-se a estabelecer, com um plano abrangente, uma instituição dedicada às Artes e Ciências práticas, a ser chamado de INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE MASSACHUSETTS, tendo a organização triplo de uma Sociedade de Artes, um museu ou Conservatório de Artes, e uma Escola de Ciência Industrial e Arte. Disponível em <<https://libraries.mit.edu/archives/mithistory/pdf/objects-plan.pdf>>. Acesso em 21 Abril 2018.

A fita perfurada era utilizada por ter um custo acessível e facilidade para armazenar um grande volume de dados, já que na época as unidades físicas para armazenamento de dados eram pequenas e apresentavam um alto custo (YOUSSEF; EL-HOFY, 2008).

Na Figura 8 é ilustrado o formato de fitas perfuradas para os padrões EIA (*Eletronics Industry Association*) e conforme as normas RS-244-A e RS-358 (ASCII-American Standard Code for Information Interchange) utilizada para máquinas de Controle Numérico e possui uma codificação binária decimal.

Os dados eram transmitidos para a unidade de controle da máquina por meio da fita perfurada com uma largura de 1 polegada e com dimensões padronizadas.

Este formato de formato representa uma codificação binária decimal usada para codificação dos dígitos na fita perfurada, desta forma cada linha contendo 8 trilhas, das quais 5 poderiam receber valores numéricos 0, 1, 2, 4 e 8, de modo que cada linha da fita era representada por valores numéricos de 0 a 9. Os valores que correspondiam a essas linhas eram estabelecidos pela combinação de furos perfurados por bit.

Figura 8 – Padrões EIA RS-244-A e RS-358(ASCII)

Fonte: (YOUSSEF; EL-HOFY, 2008)

O padrão RS-244-A e RS-358(ASCII), trabalham com paridade ímpar e par respectivamente e ambos os padrões apresentam a mesma codificação binária decimal, assim como todas as outras codificações, que incluem os códigos numéricos, alfabéticos e funções especiais. A fita perfurada tinha como objetivo principal enviar o programa de usinagem para a máquina CN. Com a evolução dos computadores a máquina CN evoluiu para CNC e esta evolução permitiu a fabricação de peças mais complexas.

No CNC as máquinas realizam movimentos por meio do controle numérico, na qual uma linguagem de programação chamada código-G é responsável por diversas ações, como deslocamento de eixos através de coordenadas cartesianas, rotação e avanço da ferramenta de corte. Estas ferramentas são feitas de um material com dureza e resistência ao desgaste muito superior a do material da peça.

A usinagem é um processo de fabricação que ocorre em função da interferência entre a ferramenta e a peça. Este processo por sua vez é uma operação que define o formato final de uma peça por meio da remoção de material sob a forma de cavaco. O cavaco representa um fragmento da peça que foi retirado pela ferramenta de corte. Na figura 9 é ilustrada a ferramenta de corte, a peça e o cavaco respectivamente.

Figura 9 – (1) Ferramenta, (2) Peça, (3) cavaco (Adaptação própria)

Fonte: <<https://bit.ly/2VKvHjW>>

Para que ocorra a usinagem com remoção de cavacos é necessário a existência de três princípios básicos:

- profundidade de corte;

- rotação da peça;
- avanço da ferramenta.

Para uma operação de usinagem, o programador deve considerar os parâmetros de corte que estão relacionados com o tipo de material da peça, características da ferramenta e tipo de operação.

3.1.1 Sistema de Coordenadas do Torno CNC

O sistema de coordenadas do torno CNC é baseado no sistema de coordenadas cartesiano e possui dois eixos perpendiculares representados como (X e Z). O eixo (X) corresponde ao eixo transversal e o eixo (Z) ao eixo longitudinal, Figura 10. Este sistema possui ainda uma origem que está localizado na intersecção dos eixos e a partir dela é que as coordenadas são construídas tomando como base as dimensões geométricas da peça.

Figura 10 – Sistema de coordenadas do Torno CNC

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 Estrutura do Programa CNC

A estrutura do programa de controle numérico de máquinas segue a norma ISO 6983-1:2009 e "specifies requirements and makes recommendations for a data format for positioning, line motion and contouring control systems used in the numerical control of machines."³. Ela tem

³ Tradução livre: Especifica requisitos e faz recomendações para um formato de dados para sistemas de controle de posicionamento, movimento de linha e contorno usados no controle numérico de máquinas.

como objetivo criar um padrão para as técnicas de programação e "... to foster interchangeability of input programs between numerically controlled machines of the same classification by type, process, function, size and accuracy."⁴

O sistema ISO é responsável pela padronização da norma onde cada segmento tem sua regra e neste contexto, a linguagem G foi adotada como um padrão a ser seguido pelos fabricantes de comandos. O sistema possui algumas normas rígidas mas também permite que cada fabricante de comando crie recursos próprios, mantendo as funções básicas e universais (BENAVENTE, 2011).

Com isso, alguns comandos oferecem mais recursos que outros e para este estudo abordaremos as funções referentes ao comando **Fanuc 0i-TD** e máquina Romi modelo **GL240M**.

Programa CNC é a transformação do desenho da peça em códigos específicos que são interpretados pelo comando. Ele é composto por uma sequência finita de blocos que são memorizados pelo comando e executados de forma contínua.

A codificação a seguir não tem o objetivo de explorar todas as funções de programação para o comando **0i-TD** e sim contextualizar as informações inerentes ao programa que utilizamos na nossa pesquisa.

- O: Número do programa;
- N: Número de blocos;
- X e Z: Dados de posição em valores absolutos;
- U e W: Dados de posição incremental;
- R: Raio ou parâmetro de ciclo;
- I e K: Parâmetro de arcos;
- F: Avanço;
- S: Velocidade de corte, RPM;
- T: Número e corretor da ferramenta;
- M: Funções auxiliares;
- P e Q: Parâmetros de ciclo;

3.1.3 Funções preparatórias

As funções preparatórias definem cada ação a ser executada pela máquina e o programador determina as operações e seus parâmetros. Elas podem ser "modais", isto é, quando programadas permanecem ativas até receber outra função de cancelamento e são "não modais" quando permanecem ativas somente no bloco atual do programa.

Fonte:<<https://www.iso.org/standard/34608.html>> Acesso em: 02 Outubro 2019

⁴ Tradução livre: ... promover a intercambiabilidade de programas entre máquinas numericamente controladas da mesma classificação por tipo, processo, função, tamanho e precisão.
Fonte:<<https://www.iso.org/standard/34608.html>> Acesso em: 02 Outubro 2019

A função **G00** representa um deslocamento dos eixos até o ponto programado utilizando a maior velocidade de avanço que a máquina possui e esta função é somente empregada quando não há remoção de material pela ferramenta de corte. Na Figura 11 é ilustrada a trajetória de aproximação da ferramenta em G00 para o padrão de torre traseira.

Figura 11 – Função G00

Fonte: Catálogo EMCO

A função **G01** executa movimentos retilíneos com qualquer ângulo e com avanço dos eixos determinado pelo programador, conforme Figura 12. Este tipo de movimento é utilizado quando ocorre a remoção do material da peça pela ferramenta de corte.

Figura 12 – Função G01

Fonte: Catálogo EMCO

As funções **G02** e **G03** são usadas para trajetória de interpolação circular horária e anti-horária respectivamente. Estas funções executam movimentos em forma de arcos considerando as seguintes regras, conforme Figura 13.

- X = posição final do arco X;
- Z = posição final do arco no eixo Z;
- I = distância incremental do início do arco ao centro e paralelo a X;
- K = distância incremental do início do arco ao centro e paralelo a Z;
- R = valor do raio sempre com o sinal positivo até 180 graus.

Figura 13 – Função G02 e G03

Fonte: Catálogo EMCO

3.1.4 Função G71 – Ciclo de desbaste longitudinal

Esta função deve ser programada em dois blocos distintos, sendo que os valores da profundidade de corte e o sobremetal para acabamento no eixo longitudinal são informados pelas funções U e W respectivamente, de acordo com a Figura 14.

Figura 14 – Função G71

Fonte: Catálogo EMCO. (Adaptado)

Formato:

N... G71 U... R...	
N... G71 P... Q... U±... W±... F... S... T...	
U [mm]	Profundidade de corte incremental no eixo X, sem sinal.
R [mm]	Altura do retorno.
P	n° do primeiro bloco do contorno.
Q	n° do último bloco do contorno.
U [mm]	Sobremetal para acabamento no eixo X. (+ para externo, - para interno).
W [mm]	Sobremetal para acabamento no eixo Z (incremental com sinal). (+ para sobremetal a direita, - para sobremetal a esquerda).
F	Avanço em [mm/rot] ou [mm/min]
S	Rotação do eixo árvore.
T	Ferramenta.

3.1.5 Função G75 – Ciclo de faceamento

A função G75 pode ser utilizada como ciclo de faceamento, conforme Figura 15 e necessita dos parâmetros:

- X = Diâmetro da peça;
- Z = Posicionamento final;
- P = Incremento de corte em raio no eixo X (milésimo de milímetro);
- Q = Profundidade de corte por passada no eixo Z (milésimo de milímetro);
- R = Afastamento de retorno;
- F = Avanço.

Figura 15 – Função G75

Fonte: Manual de programação Romi (Adaptado).

O programa CNC 3.1.6, apresenta o faceamento utilizado neste trabalho.

3.1.6 Programa CNC

```

1: (Facear 10 passes com 0,8 mm de profundidade de corte)
2: N10 G21 G40 G90 G95
3: N20 G54
4: N30 G28 U0 W0
5: N40 T0101 (DESBASTE)
6: N50 G96 S300 (VELOCIDADE DE CORTE)
7: N60 G92 S2500 M4
8: N70 G0 X55 Z7.2 M8
9: N80 G75 X-2 R1 Z0 P28500 Q800 F0.25
10: N90 G28 U0 W0 M9
11: N100 M30

```

Código-fonte 1 – Ciclo de Faceamento G75.

3.2 Peça do Trabalho

A peça foi projetada em 2D no *software* AutoCad, conforme ilustrado na Figura 16 e o desenho em 3D elaborado no *software* Inventor, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 16 – Desenho 2D da peça (AutoCad)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 17 – Modelo 3D da peça (Inventor)

Fonte: Elaborada pelo autor.

O material da peça é de aço SAE 1045 e sua composição química e estrutura pode ser verificada por meio do laudo técnico conforme Apêndice A. O material em bruto possui um diâmetro de 51 mm x 80 mm de comprimento e massa aproximada de 1,28 kg. Para comprovar a autenticidade do material a ser usinado foram realizados os seguintes ensaios:

- Ensaio metalográfico: verificar a estrutura do material.
- Espectrometria de emissão ótica: mede a composição química da peça.
- Ensaio de dureza: verificar o valor da resistência do material.

O programa da peça foi feito seguindo as características do comando **Fanuc 0i-TD** e segundo a norma ISO 6983. Alguns critérios foram seguidos conforme Código 3.2.1. Utilizamos o cilo de desbaste G75 da linha 9 para efetuar o desbaste transversal (Eixo X) com profundidade de corte de 0,8 mm (Q800) e avanço 0,25 mm/rot (F0.25). Já para o ciclo de desbaste longitudinal G71 mostrado na linha 11 utilizamos uma profundidade de corte de 3 mm (U2) e avanço 0,25 mm/rot (F0.25) linha 12.

3.2.1 Ciclos de Desbaste G71 e Acabamento G70

```

1: %
2: O0007(PEÇA AÇO SAE 1045)
3: N10 G21 G40 G90 G95
4: N20 G54
5: N30 G28 U0 W0
6: N40 T0101(Desbaste)
7: N50 G96 S300
8: N60 G92 S2500 M4
9: N70 G0 X51 Z3 M8
10: N80 G71 U3 R1
11: N90 G71 P100 Q180 U0.8 W0.2 F0.25
12: N100 G0 X17
13: N110 G1 Z0
14: N120 X20, C1
15: N130 Z-17
16: N140 G2 X26 Z-20 I3 K0
17: N150 G1 X30, R1
18: N160 X36.7 Z-39, R5
19: N170 X49
20: N180 X51 Z-40
21: N190 G42 (Acabamento)
22: N200 G70 P100 Q180 F0.08
23: N210 G40
24: N190 G28 U0 W0 M5 M9
25: %

```

Código-fonte 2 – Ciclo de desbaste e acabamento.

A função deste programa é verificar a condição de usinagem relativo a carga dos eixos (X e Z) para a máquina Romi GL240M com comando Fanuc 0i-TD. As análises serão feitas no capítulo 6 e comparadas com duas ferramentas distintas. As mesmas condições de corte serão mantidas a fim de verificar a carga dos eixos transversal, longitudinal e rotacional da máquina.

Diversas funções de programação já existiam no máquina CN, mas somente a partir da utilização do computador foi possível uma evolução para o CNC e disponibilizando assim um grande volume de dados gerados pelas máquinas.

3.3 Big Data e chão de fábrica

O que significa “Big Data”?

Muitos já ouviram falar do termo, mas desconhecem a sua origem e seu significado, acreditam que se trata de algo distante de sua vida cotidiana, ledor engano, estamos cercados desta tecnologia, um bom exemplo da utilização do Big Data no nosso dia-a-dia são as previsões meteorológicas. A partir de computadores de alta capacidade, é possível desenvolver softwares que articulem diferentes dados e os relacione de tal modo que tenhamos uma previsão do clima de forma segura, permitindo que evitemos ou nos preparemos para quaisquer intempéries naturais.

O termo *Big Data* pode ser traduzido de maneira literal do inglês “grande dado”, pois não há uma tradução técnica para ele⁵. A sua origem é difícil de delimitar, mas acredita-se que no início dos anos de 1990, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) começou a usar este termo para se referir a um conjunto de dados cuja complexidade desafiava os computadores da época. Conseguir capturar tais dados, processá-los e analisá-los era uma tarefa que dependia de um trabalho conjunto de diferentes áreas do saber.

Embora já existisse, ele se tornou célebre a partir do ano de 2000, quando o analista Doug Laney usou o termo para sintetizar três tipos de informação diferentes: Volume (quantidade de dados), Velocidade (o tempo com que estes dados são transmitidos ou analisados) e a Variedade (o tipo de dados coletados).

De acordo com Hekima (2016), hoje em dia, o termo pode aparecer juntamente com o adjetivo “*Analytics*”, neste caso, estamos nos referindo a softwares extremamente poderosos, capazes de selecionar diferentes tipos de informação e disponibilizá-las para diferentes fins.

Para Lee e Sohn (2016), Big Data é mais do que isto: “Because Big Data bases its significance in the expansion of thought, it is not about volume, velocity, or variety of data but rather about an alternative perspective and viewpoint with respect to the data.”(p.01)⁶, trata-se

⁵ Fonte: <<http://magmatranslation.com/a-traducao-tecnica-na-analise-de-big-data/>>. Acesso em: 07 Maio 2018

⁶ Tradução livre: Como o *Big Data* baseia sua importância na expansão do pensamento, não se trata de volume, velocidade ou variedade de dados, mas de uma perspectiva e ponto de vista alternativos em relação aos dados.

de conseguir visualizar os dados de uma maneira mais plena, de um ponto de vista que permita ver o todo, e desta forma, extrair a informação necessária. Outro fato que levou a popularização do termo por volta do ano 2000 foi a proliferação da internet e a demanda pela análise de um grande número de dados de um vasto número de usuários.

A importância atribuída ao *Big Data* foi reafirmada em diferentes momentos da nossa história, vale lembrar que no Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*) realizado em Davos em 2012, o *Big Data* foi classificado como uma das 10 tecnologias cruciais para o desenvolvimento futuro, uma vez que as grandes questões globais (como a mudança climática, a energia, a pobreza e a segurança) exigem um tratamento apoiado em uma série de dados, como afirma Lee e Sohn:

“Big Data seems to indicate that solutions to global issues require a broad range and amount of data, and the technology to effectively manage and extract useful data is expected to provide much-needed insight into resolving some of these potentially catastrophic global issues.”
(p.02)⁷

Tão importante quanto a quantidade de dados a serem analisados é a maneira como eles serão combinados e que tipo de informação útil tais dados podem gerar: “If Big Data is large, expressed in real time similar to streaming, and includes unstructured data such as text, images, and videos, combining these different types of data and creating value are important.” (p.02).⁸ O que importa são informações oriundas destes dados “The researcher does not need data; he or she needs information.” (p. 02).⁹

Não há um volume predeterminado para que possamos dizer se uma série de dados é *Big Data* ou não, normalmente, classificamos que um conjunto de dados para ser considerado *Big Data* deve ter alguns *terabytes* (se pensarmos em pequenos conjuntos) ou *petabytes* (se pensarmos em grandes conjuntos), por exemplo, Lee e Sohn (2016) citam a quantidade de dados contida nos livros disponíveis na biblioteca do Congresso de Washington, aproximadamente, 15 TB, trata-se de um *Big Data*, outro exemplo dado pelos autores se refere a produção de dados da própria raça humana, até 2012, a espécie humana havia acumulado um total de 1,27 ZB e estima-se que até 2016 se atingiria a marca de 1,3 ZB, o que significa que seria difícil visualizar uma quantidade de dados próxima a 1 GpB (*Geopbytes*) que corresponde a 2^{100} . O aumento deste número de dados é difícil de se explicar, ele pode estar associado à internet e mesmo a uma maior capacidade de dispositivos de armazenamento de dados.

⁷ Tradução livre: O *Big Data* parece indicar que as soluções para problemas globais exigem uma ampla variedade e quantidade de dados, e espera-se que a tecnologia para gerenciar e extrair dados úteis efetivamente forneça informações necessárias para resolver alguns desses problemas globais potencialmente catastróficos.

⁸ Tradução livre: Se o volume de dados for grande, expresso em tempo real semelhante ao streaming e incluir dados não estruturados, como texto, imagens e vídeos, é importante combinar esses diferentes tipos de dados e criar valor.

⁹ Tradução livre: O pesquisador não precisa de dados; ele ou ela precisa de informações.

Atualmente, é possível afirmar que o acúmulo destes dados se tornou mais barato, portanto mais viável, o que dinamizou a distribuição de dados, as informações podem ser transmitidas em tempo real graças ao *twitter* e a outras ferramentas tecnológicas. “... now it is relatively easy to use wired and wireless network connections to transfer 1 Gbps...” “Thus, the creation and distribution of data are occurring in the blink of an eye.” (p.02)¹⁰

A diversidade de dados também aumentou não apenas a sua quantidade, mas a sua variedade. Antigamente, a maioria dos dados seguia um único padrão (por exemplo, os dados sobre vendas de um produto), atualmente, os novos tipos de dados não podem ser categorizados num único tipo (vídeo, música, imagens, texto, dados sobre localização), há uma variedade muito grande na natureza destes dados, muitos deles não são estruturados, que vem aumentando continuamente e exigindo uma nova maneira de processá-los a fim de que eles possam ser usados de modo significativo. “Therefore, Big Data includes sets of data that are difficult to manage and analyze using existing methodologies; it also includes human resources, organizations, and related technology to manage and analyze the compounding data that comprise Big Data.” (p.06)¹¹

Processar dados de natureza tão diferentes é algo complexo, é possível afirmar que na nossa sociedade, há uma quantidade infinita de dados, o que significa que todos serão analisados, alguns são considerados inúteis e sem sentidos, por isso é necessário que o programa consiga filtrar e separar os dados úteis dos inúteis. Os autores usam a metáfora da floresta que para conseguir vê-la por completo é fundamental estar olhando-a do alto, só assim é possível compreender a sua dimensão, neste sentido os autores afirmam que “To view the outside, which cannot be accomplished from within the group, we must see from a diferente perspective; to see even more, we must use Big Data.” (p.06)¹²

O *Big Data* nos garante esta visão do alto, na qual podemos enxergar o todo para encontrarmos o que procurarmos, progredimos do registro em cascas de plantas à invenção do papel e atualmente estamos armazenando diferentes tipos de informação nas nuvens, o número, a qualidade e a variabilidade dos dados mudou muito. Os dispositivos de armazenamento analógico (filmes, fitas, áudios, etc) conseguiram armazenar mais informações num volume menor. Nos anos de 1980, portanto antes da era digital, a humanidade havia acumulado aproximadamente 2.620.000 TB de dados, cerca de 90% destes estavam contidos em filmes e fitas.

Já na década de 1990, em plena revolução digital, houve um aumento substancial nas formas de armazenamento de dados, o disquete foi o primeiro dispositivo de armazenamento,

¹⁰ Tradução livre: ...agora é relativamente fácil usar conexões de rede com e sem fio para transferir 1 Gbps... Assim, a criação e distribuição de dados estão ocorrendo em um piscar de olhos.

¹¹ Tradução livre: Portanto, o Big Data inclui conjuntos de dados difíceis de gerenciar e analisar usando metodologias existentes; inclui também recursos humanos, organizações e tecnologia relacionada para gerenciar e analisar os dados compostos que compõem o Big Data.

¹² Tradução livre: Para ver o exterior, que não pode ser realizado de dentro do grupo, devemos ver de uma perspectiva diferente; para ver ainda mais, precisamos usar o *Big Data*.

hoje, nossos dispositivos de armazenamento se tornaram mais baratos e nos acompanham diariamente, o telefone celular é um bom exemplo disto, ele faz muito mais do que realizar ligações, tiramos fotos e nos conectamos à internet o tempo todo graças à ele, a tecnologia se tornou mais acessível quer economicamente, quer fisicamente, a tecnologia se popularizou, neste sentido Gardner afirma que “in 2009, there were 900 million units of objects that used IoT technology; by 2020, this number is expected to grow to 26 billion units. Cisco speculates that from 2013 to 2022, IoT technology will have an economic value of approximately \$14 trillion”. (p. 07) ¹³

Conforme a Tabela 18, o custo para armazenamento de dados em um disco rígido em 1980, era na ordem de \$437.500,00 por gigabyte e com o passar dos anos este custo caiu drasticamente em função dos avanços tecnológicos. No ano de 2016 tal custo já representava menos de \$1,00 para armazenar a mesma quantidade de dados, impactando no aumento de unidades com maior capacidade de armazenamento.

Figura 18 – Custo médio do disco rígido por gigabyte - unidade: Dollar)

Fonte: <<https://www.statisticbrain.com/average-cost-of-hard-drive-storage/>>. (Adaptada)

A importância do *Big Data* não pode ser medida apenas pelo aumento no número de dados, mas sim pelas informações que tais dados podem gerar. É necessário saber separar que tipo de informação as indústrias ou o mercado pode precisar, como já foi dito, nem tudo será útil, por isso para aliar a utilidade do *Big Data* a indústria precisará ter clareza do que se busca. “Analyzing Big Data and distinguishing the “gems” from the “pebbles” are not accomplished by evaluating what we know but rather by discovering what we do not know.” (p. 09) ¹⁴

¹³ Tradução livre: em 2009, havia 900 milhões de unidades de objetos que usavam a tecnologia IoT; até 2020, esse número deve crescer para 26 bilhões de unidades. A Cisco especula que, de 2013 a 2022, a tecnologia IoT terá um valor econômico de aproximadamente 14 trilhões de dólares.

¹⁴ Tradução livre: A análise do Big Data e a distinção entre as "pedras preciosas" e as "pedrinhas" não são realizadas avaliando o que sabemos, mas descobrindo o que não sabemos.

Saber separar o que serve do que não serve é o primeiro passo, mas para dá-lo é preciso ampliar o que sabemos sobre o assunto, verificando o que já conhecemos desde o início e checando novas possibilidades de combinação de informação, trata-se de um processo exploratório, de garimpar o que serve e o que não serve.

O segundo passo para que o *Big Data* seja utilizado de forma satisfatória pela indústria é conhecer os problemas e as soluções que os dados podem apresentar, “With Big Data, it is possible to find an important, hidden, previously unknown truth. Finding meaningful truth in Big Data that cannot be ascertained through cognitive human abilities is Big Data’s problem-solving process.”(p.09)¹⁵

O que está sendo descoberto hoje não está desconectado do que fizemos no passado e por outro lado irá influenciar o que podemos esperar do futuro da indústria com o *Big Data*.

“Things chosen in the past exist in the present, and things selected in the present will move to the future. Because the past, present, and future are not segmented, if the present can be ascertained, future doors can be opened. The analysis of the various past forms of Big Data can make it much easier to glimpse possible outcomes and future circumstances.”
(p.10)¹⁶

Hoje, é possível olhar as informações, possibilidades e ferramentas que produzimos e encontrar soluções para problemas que há muito tempo nos intrigam, conseguir vislumbrar resultados futuros, prever consequências de ações ainda não realizadas, o *Big Data* é uma importante ferramenta para a indústria, como usá-lo da melhor maneira possível é algo que ainda está em curso, um exemplo importante sobre a utilização dos dados coletados é o comportamento de compra, é possível prever um perfil de comprador e facilitar o acesso dele ao bens que ele gostaria de consumir, tais informações são importantes para aumentar o faturamento das empresas.

Um terceiro passo deve ter como objetivo melhorar o ambiente de negócios para que isto seja possível é preciso melhorar a utilização prática dos dados e da tecnologia da informação e assim melhorar a produtividade do ambiente de trabalho, para Lee e Sohn (2016), isto pode soar como um clichê, mas é o anseio das empresas/indústrias, esta melhoria na produtividade pode ser alcançada de duas formas diferentes: a primeira forma consiste na utilização da tecnologia de sensores (*sensor technology*), nela você gerencia os materiais que serão utilizados e o tempo gasto; a segunda forma, com o auxílio do *Big Data*, você pode minimizar os esforços do trabalho,

¹⁵ Tradução livre: Com o *Big Data*, é possível encontrar uma verdade importante, oculta e desconhecida anteriormente. Encontrar uma verdade significativa no *Big Data* que não pode ser determinada por meio de habilidades cognitivas humanas é o processo de solução de problemas do *Big Data*.

¹⁶ Tradução livre: As coisas escolhidas no passado existem no presente, e as coisas selecionadas no presente se moverão para o futuro. Como o passado, o presente e o futuro não são segmentados, se o presente puder ser verificado, portas futuras poderão ser abertas. A análise das várias formas passadas de *Big Data* pode tornar muito mais fácil vislumbrar possíveis resultados e circunstâncias futuras.

ganhando tempo, o que reduz o custo e melhora a produtividade, um exemplo é a substituição da força humana, em alguns casos, pela máquinas e computadores. “However, in the Big Data world, the raw materials, product, machines, and so on, are outfitted with various sensors and tags that enable real-time interactions and the accumulation of data to enhance productivity.” (p. 11)¹⁷

A utilização do Big Data torna possível que as indústrias realizem interações em tempo real e acumulem dados que serão levados em consideração para rodar um processo, o que permite um aumento da produtividade, os dados e as informações necessárias são produzidos mais rapidamente e com maior precisão. Por exemplo, há dispositivos hoje que permitem que você cheque equipamentos antes deles quebrarem, você pode prever se determinado instrumento dará problema e fazer a substituição/conserto antes que ele deixe funcionar, você não precisa interromper a linha de montagem para fazer o reparo, os engenheiros podem se preparar preventivamente e fazer o reparo sem que isto afete a linha de produção, tanto os dados estruturados, como os não estruturados são úteis nesta situação.

O quarto passo em que a utilização do *Big Data* pode auxiliar no ambiente industrial é fornecer o embasamento para uma tomada de decisão mais certa, evitando conflitos de opiniões e permitindo que a melhor decisão seja tomada independente de pontos de vista diferentes que não tenham um embasamento sólido, embora a intuição de um profissional experiente seja importante, as informações geradas pelo *Big Data* permitem um olhar mais apurado sobre a situação e fornece uma visão realista e objetiva. “Decision making will always be a manager’s essential duty, and the failure of many corporations is a result of a failure in decision making.” (p.11)¹⁸

Um bom exemplo da utilização do *Big Data* na indústria petrolífera é o mapeamento do solo através de sensores e informações geográficas que permitem localizar o ponto correto de uma reserva de petróleo, a opinião de um bom geógrafo não é suficiente para tamanho investimento, um erro poderia gerar um custo absurdo e levar uma indústria à falência. O *Big Data* combina informações de natureza diversa e permitem que a perfuração ocorra de forma certa.

O quinto passo está ligado aos demais e permite uma decisão inteligente na tomada de decisões, saber analisar tais informações checá-las com outras do sistema permite que a combinação de dados amplie a lucratividade da indústria, um bom exemplo disso é a utilização do *Big Data* pelas indústrias de energia, nelas é possível instalar uma rede de sensores e um mecanismo de *feedback* automatizado, estes sensores são utilizados para alterar a energia em diferentes padrões de consumo, ao instalar estes sensores inteligentes nas instalações de energia é possível mapear o consumo em tempo real e os custos podem ser verificados, permitindo a

¹⁷ Tradução livre: No entanto, no mundo do *Big Data*, as matérias-primas, produtos, máquinas e outros, são equipadas com vários sensores e palavras-chave que permitem interações em tempo real e o acúmulo de dados para aumentar a produtividade.

¹⁸ Tradução livre: A tomada de decisões sempre será um dever essencial do gerente, e o fracasso de muitas empresas é resultado de um fracasso na tomada de decisões.

identificação dos horários na utilização da energia e controlá-la para evitar uma sobrecarga na rede elétrica. Através desses esforços, processos intensivos em energia poderiam ser rearranjados para um menor tempo de carregamento de energia, gerando economia e evitando uma quebra no fornecimento.

Outro bom exemplo de como o *Big Data* pode ser bem utilizado é o GPS (*Global Positioning System*), mais do que transmitir informações sobre o posicionamento do motorista e o mapeamento do local em que ele se encontra é possível ter informações sobre o melhor trajeto, restaurantes no caminho, congestionamentos e outras informações pertinentes. Acredita-se que no futuro, o GPS poderá inferir o humor do motorista e fazer sugestões antes mesmo que ele as solicite.

A questão principal para a boa utilização do *Big Data* é saber reconhecer o seu problema real, “...the most important aspect is to identify the actual problem.” (p.12)¹⁹ Para isso é preciso saber olhar os dados que o *Big Data* apresenta e decidir quais serão úteis, o ser humano é importante nesta função, depois da observação das informações é necessário quantificar o que você encontrou como dado a fim de checar o quanto ele é significativo e por fim o raciocínio dedutivo será requerido para identificar o problema. É necessário um aumento no número de profissionais que trabalhem com *Big Data*, segundo McKinsey, estamos vivenciando um momento de escassez de mão de obra especializada que saiba analisar os dados/informações do *Big Data*, não há pessoas qualificadas para fazer as filtragens e analisar a potencialidade das informações obtidas.

De acordo com Marquesone (2016), o termo *Big Data* deve levar em conta além do grande volume de dados, outras características como por exemplo, a variedade e velocidade conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Os 3Vs do Big Data

Fonte: MARKESONE R., (2016) - (Adaptado).

¹⁹ Tradução livre: o aspecto mais importante é identificar o problema real.

Os dados estruturados apresentam maior facilidade de manipulação, pois estão dispostos em formato de tabelas. Os dados semiestruturados, temos arquivos do tipo XML que apresentam uma estrutura estabelecida com regras para a codificação de documento, mas não possuem a mesma facilidade de manipulação quando comparamos com os dados estruturados. Para o nosso trabalho não utilizamos o agente *MTConnect* que é responsável em fornecer os dados no padrão XML através do protocolo HTTP.

Alguns formatos de textos, imagens e vídeos encontram-se na classe de dados não estruturados e apresentam maior dificuldade para serem processados e em função de seu formato não propício para o armazenamento em tabelas.

O volume de dados possui a característica mais relevante para o conceito *Big Data*, e desde 2012 são criados 2,5 exabytes de dados todos os dias, dobrando a cada três a quatro anos (MCAFEE *et al.*, 2012).

Com todos esses dados disponíveis surge uma grande oportunidade para trabalhar com um número tão expressivo de dados, no entanto para algumas aplicações a velocidade para manipulação dos dados é mais importante do que o volume, pois o acesso aos dados em tempo real torna uma empresa mais competitiva frente aos seus concorrentes. Quanto a variedade, tais dados representam as mensagens em formatos de texto, som e vídeos postadas em redes sociais, leitura de sensores, sinais de GPS, celulares e diversas outras tecnologias.

Para este trabalho, em que o grande volume de dados é gerado pela máquina CNC, é necessário que a Fanuc disponibilize os dados através do seu protocolo proprietário, que em conjunto com padrão *MTConnect* é possível a extração dos dados de usinagem.

Finalmente é apresentada a etapa de investigação dos dados, que consiste na mineração e análise visual dos dados, em que se buscam padrões e informações úteis escondidas nos dados em bruto.

MINERAÇÃO E ANÁLISE VISUAL DOS DADOS

Os avanços tecnológicos fizeram com que o sonho de armazenar grandes volumes de dados se tornasse uma realidade. No entanto este sonho poderá se tornar um pesadelo, caso tais dados não passem por análises necessárias para oferecer as informações mais relevantes para a solução de um determinado problema.

4.1 Mineração dos dados

A mineração de dados é um processo análogo ao de extração de minerais preciosos encontrados na natureza, que corresponde ao material usado na mina (dados bruto), utilizando as ferramentas adequadas (algoritmos e técnicas) e finalmente consegue-se os metais preciosos (informações úteis) (FERRARI; SILVA, 2017).

Para Larose e Larose (2014), a mineração de dados é um processo e não existe ferramentas automáticas de mineração de dados que irão resolver de forma automática seus problemas. O processo de mineração exige bastante supervisão humana, caso contrário corre-se o risco de encontrarmos respostas erradas e neste caso é pior do que não encontrar nenhuma informação válida.

Han, Pei e Kamber (2011) relata que a tarefa de recuperação de informações a partir de grandes fontes de dados é uma tarefa desafiadora, pois requer uma integração entre diferentes tecnologias, como a análise de redes de informações e mineração de dados, que consiste em encontrar padrões e informações úteis com base no grande volume de dados.

O autor ainda destaca que, atualmente, a riqueza de dados é bastante expressiva e apesar das poderosas ferramentas existentes para a análise de dados, ainda temos uma situação na qual há riqueza de dados, mas com poucas informações úteis, Figura 20.

Figura 20 – O mundo é rico em dados, mas pobre em informação

Fonte: HAN; PEI; KAMBER, (2011), p.42

Dessa forma os dados extraídos dos grandes repositórios tornam-se grandes "túmulos de dados", uma vez que tais arquivos são pouco visitados. Frequentemente, a tomada de decisão é feita somente com a intuição do analista, já que muitas vezes falta domínio das ferramentas para extrair as valiosas informações que estão ocultas na base de dados.

Evidentemente, existe um vazio entre dados e informação que precisam ser preenchidos com novas ferramentas de mineração de dados e técnicas adequadas, para transformar os "túmulos de dados" em bases sólidas de conhecimento e informações.

Segundo [Han, Pei e Kamber \(2011\)](#), existe um processo mais abrangente chamado KDD que consiste na descoberta de conhecimento e contempla uma sequência iterativa obedecendo os seguintes passos:

1. Limpeza de dados (elimina ruído e inconsistência);
2. Integração de dados (junção de várias fontes de dados);
3. Seleção de dados (dados significativos são recuperados do banco de dados para análise);
4. Transformação de dados (processo de alteração e transferência para formulários apropriados para mineração);
5. Mineração de dados (um processo essencial em que métodos inteligentes são aplicados para extrair padrões de dados);
6. Avaliação de padrões (identificar os padrões mais úteis que representam o conhecimento com base em medidas de interesse);

7. Apresentação do conhecimento (uso de técnicas de visualização e representação de conhecimento para apresentar conhecimento minado aos usuários);

De acordo com o autor, nas etapas de 1 a 4, os dados são arrumados para mineração que apresentam diferentes formas de pré-processamento de dados, cuja etapa de mineração de dados pode relacionar-se com o analista ou com a base de conhecimento. Os padrões de interesse são mostrados para o analista e novas informações podem ser armazenadas na base de conhecimento.

A Clusterização é uma ferramenta de mineração de dados utilizada em diversas áreas de pesquisa e tem como objetivo agrupar um conjunto de objetos de dados em vários grupos (*clusters*), agrupando-os por semelhança, no entanto são diferentes de outros grupos.

4.2 Clusterização de Dados

O clusterização ou agrupamento de dados é o conjunto de técnicas utilizadas em mineração e análise de dados que tem como objetivo agrupar os dados em busca de padrões ou grau de semelhança.

Clustering algorithms divide data into meaningful or useful groups, called clusters, such that the intracluster similarity is maximized and the inter-cluster similarity is minimized. These discovered clusters can be used to explain the characteristics of the underlying data distribution and thus serve as the foundation for various data mining and analysis techniques. (KARYPIS, 2002)¹

Um dos principais desafios para um analista de dados é conseguir sintetizar as informações contida nos dados coletados. Em muitas situações, em função do grande volume de dados disponíveis utilizamos a técnica chamada de clusterização. A técnica de clusterização separa os dados em grupos por semelhança e desta forma facilita a visualização dos dados.

É importante conceituar objetos e atributos quando se deseja trabalhar com agrupamento de dados. Fontana e Naldi (2009) destaca que "...objetos são as instâncias de uma base de dados e que atributos são os dados que caracterizam esses objetos."

¹ Tradução livre: "Algoritmos de Clusterização dividem os dados em grupos úteis ou significativos, chamados clusters, nos quais a similaridade intra-cluster é maximizada e a similaridade inter-cluster é minimizada. Estes clusters descobertos podem ser usados para explicar as características da distribuição dos dados subjacentes e assim servir como base para várias técnicas de análise e mineração de dados."

No exemplo da Figura 21 é possível ver o algoritmo de clusterização analisando e identificando os dados em grupos conforme as características dos dados.²

Figura 21 – Exemplo de clusterização de dados.

Fonte: <<https://www.statisticbrain.com/average-cost-of-hard-drive-storage/>> Adaptado

A semelhança entre os grupos é definida em função da proximidade dos objetos no espaço e conforme uma função de distância.

Agrupar objetos de acordo com suas características é uma necessidade em diferentes situações do nosso dia-a-dia, uma vez que agrupá-los é uma maneira coerente de facilitar o acesso a estes dados. K-means é um famoso algoritmo de agrupamento de dados, que também pode ser conhecido como K-medias. Ele é considerado bastante popular graças a sua facilidade de implementação.

Para Fontana e Naldi (2009),

K-means utiliza o conceito de centroides como protótipos representativos dos grupos. O centroide representa o centro de um grupo, sendo calculado pela média de todos os objetos do grupo (...) K-means possui uma complexidade computacional equivalente a $O(N * k * T)$, pois, a cada iteração (T), é calculada a distância entre os N objetos até cada um dos k centróides. Se considerarmos nessa medida de complexidade o número de atributos, passaríamos para $O(N * k * T * n)$, já que cada comparação entre dois objetos tem complexidade computacional $O(n)$. (p.21)

A complexidade computacional tem o objetivo de encontrar um algoritmo com um tempo de processamento mais satisfatório possível para resolver um problema de computador, (TOSCANI; VELOSO, 2001).

² Introdução ao Machine Learning: Disponível em: <<http://carlosbaia.com/2016/07/17/introducao-ao-machine-learning/>> Acesso em: 12 outubro 2019

O primeiro passo para o seu agrupamento é atribuir valores iniciais para os protótipos de acordo com alguns critérios que serão definidos segundo os objetivos do agrupamento, Figura 22a. No segundo momento, deve-se atribuir a cada objeto ao grupo com maior similaridade ao objeto que será agrupado, desta forma, objetos com características parecidas ficarão no mesmo grupo, Figura 22b. No terceiro passo, o valor do centroide de cada grupo deve ser recalculado, “como sendo a média dos objetos atuais do grupo”, Figura 22c (FONTANA; NALDI, 2009) p.21.

Figura 22 – Execução de execução do algoritmo K-means.

Fonte: Fontana; Naldi, (2009). p.22

Por último, desvincula-se os objetos dos grupos repetindo o segundo e o terceiro passo até que estes grupos se tornem estáveis, o que pode ser demonstrado pela Figura 23.

Figura 23 – Passo final: Estabilização dos grupos.

Fonte (Naldi, 2009). p.22

É preciso destacar que há muitas variações do algoritmo K-means, tais variações fazem uso de diferentes técnicas e estratégias, a utilização de um ou outro depende dos objetivos pretendidos. Segundo Beltrame e Fonseca (2010), é possível afirmar que os algoritmos de clusterização como o K-means apresentam ganhos de performance se comparados com outros algoritmos.

4.3 Visualização de dados

A visualização de dados tem como objetivo apresentar os dados de forma mais clara, por meio de gráficos, diagramas e mapas. Quando analisados os dados brutos fica muito difícil descobrir uma informação útil contida na base de dados e com as técnicas de visualização pode-se criar gráficos mais bonitos e eficientes.

O grande volume de dados impulsionado pelos avanços tecnológicos, fazem com que novas técnicas de visualização surjam, com o propósito de gerar análises mais consistentes voltadas para a tomada de decisão.

A visualização de informação (infovis) é a matéria que estuda a representação visual dos dados e existe diversas técnicas para apresentar os dados de forma eficaz (TELEA, 2015).

O autor afirma que "*Data visualization is an extensive field at the crossroads of mathematics, computer science, cognitive and perception science, and engineering.*"³ E segundo ele, a visualização da informação é utilizada em diversos setores que trabalham com grandes volumes de dados e certamente contribui para que os analistas possam encontrar as respostas para todas as informações ocultas nos dados.

Trabalhar com visualização de dados não é uma tarefa trivial e necessita conhecimentos específicos:

*... designing a complete visualization system involves many subtle decisions. When designing a complex, real-world visualization system, such decisions involve many types of constraints, such as performance, platform (in)dependence, available programming languages and styles, user-interface toolkits, input/output data format constraints, integration with third-party code, and more.*⁴

A visualização de dados é um campo extenso que atrai o interesse de diferentes profissionais. O objetivo da visualização de dados é obter informações de uma forma sistematizada sobre diferentes aspectos que temos interesse. Há muitas definições para o termo “visualização”, (TELEA, 2015) nos traz as definições de alguns autores e monta uma imagem que apresenta quais questões são importantes para permitir uma boa visualização dos dados, Figura 24.

³ Tradução livre: A visualização de dados é um campo extenso na encruzilhada da matemática, ciência da computação, ciência cognitiva e da percepção e engenharia.

⁴ Tradução livre: projetar um sistema de visualização completo envolve muitas decisões sutis. Ao projetar um sistema de visualização complexo e real, essas decisões envolvem muitos tipos de restrições, como desempenho, dependência (plataforma), estilos e linguagens de programação disponíveis, kits de ferramentas da interface do usuário, restrições de formato de dados de entrada / saída, integração com terceiros, código de terceiros e muito mais.

Figura 24 – Perguntas direcionadas pelo processo de visualização.

Fonte: TELEA, (2015) p. 04

A partir das respostas a perguntas como: qual é o mínimo e máximo de dados da distribuição? Os Dados respondem a qual questão? O Que há neste conjunto de dados? é possível guiar o processo de visualização de dados, o primeiro é identificar qual é o seu objetivo com a visualização dos dados, tal resposta definirá os próximos passos. Neste sentido, a primeira questão a ser analisada é buscar uma resposta para um problema quantitativo ou qualitativo, é possível um dado quantitativo para visualizar uma informação que tenha como base uma base numérica, por exemplo, o aumento da temperatura de uma região numa determinada época:

Na Figura 25 é ilustrada uma visualização dos dados médios de temperatura e precipitação na Europa em julho, no período 1960-1990. A temperatura é mostrada por cor (vermelho-quente, verde mais baixas). Os níveis de chuva são indicados pelo sombreado, com os sombreados mais densos indicando máximos. Tal figura é uma forma de visualizar os dados quantitativos.

Figura 25 – Dados médios de temperatura e precipitação.

Fonte: Telea, (2015) p.8

A visualização de dados pode se dividir em diferentes subcampos: visualização científica e visualização da informação. Há um campo mais novo chamado de *visual analytics*, ele pode ser considerado simultaneamente como uma ponte e também uma extensão dos dois primeiros, pois reconhece a necessidade de combinar as duas.

4.4 Configuração do comando 0i-TD

Um cabo de rede tipo *CrossOver* foi utilizado para fazer a comunicação direta entre o computador/CNC, assim como a configuração de endereço IP e testes de comunicação para checar a capacidade do computador em se conectar com o CNC, conforme Figura 26.

Figura 26 – Cabo de Rede Crossover

Fonte: <https://cabospatchcord.com.br/blog/blog/2019/01/02/cabo-de-rede-crossover/>

O CNC foi configurado para o canal de comunicação 9 por meio das teclas OFFSET, [SETTING] conforme Figura 27.

Figura 27 – Configuração do canal de comunicação do CNC.

Fonte: Comando Fanuc (SENAI)

Com a tecla MDI ativa e pressionando a tecla [SYSTEM], em seguida selecionar a tecla de função > 6 vezes, [PORT INCORP], [GERAL] e alterar o endereço IP conforme ilustrado na Figura 28. Finalmente selecionar a opção [FOCAS2] e a porta para 8193.

Figura 28 – Configuração do IP e Máscara de rede.

Fonte: Elaborada pelo autor

A conectividade entre o computador e o CNC foi testada por meio do comando Ping (*Packet Internet Network Grouper*). Este comando envia alguns pacotes de dados para outros equipamentos ligados em rede e aguarda uma resposta. Na Figura 29 é possível verificar que a perda no envio dos pacotes de dados para o CNC foi de 0% e isso significa que a conectividade entre ambos foi satisfatória.

Figura 29 – Teste de conectividade.

```
C:\>ping 192.168.1.10

Disparando 192.168.1.10 com 32 bytes de dados:
Resposta de 192.168.1.10: bytes=32 tempo=32ms TTL=255
Resposta de 192.168.1.10: bytes=32 tempo=19ms TTL=255
Resposta de 192.168.1.10: bytes=32 tempo=6ms TTL=255
Resposta de 192.168.1.10: bytes=32 tempo=21ms TTL=255

Estatísticas do Ping para 192.168.1.10:
    Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 <0% de perda>

Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = 6ms, Máximo = 32ms, Média = 19ms
```

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a configuração do comando Oi-TD foi possível executar o arquivo do adaptador conforme Figura 30.

Figura 30 – Execução do adaptador MTConnect

```
C: > fanuc_oid debug
Arguments: 0
Ini File: adapter.ini
FP = 0, 12150c0
Adding pmc 'SspeedOvr' at location 30
Adding pmc 'Fovr' at location 12
2019-09-07T20:03:10.315Z - Info: Server started, waiting on port 7878
```

Fonte: Elaborada pelo autor

O adaptador inicia o serviço por meio do arquivo "fanuc_oid" e aguarda os dados que serão entregues por meio da porta **7878**, conforme configuração do arquivo *adapter.ini*, Figura 31 (ELLIS, 2018).

Figura 31 – Arquivo adapter.ini

```
1 [adapter]
2 port=7878
3 service=focas
4 [focus]
5 host=192.168.1.10
6 [macros]
7 [pmc]
8 SspeedOvr=30
9 Fovr=12
```

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=TwhSCewjjmE> (Adaptado)

Foi possível verificar os dados chegando do CNC por meio do comando "telnet 127.0.0.1:7878" mas o arquivo de texto só foi gerado após a utilização do programa PuTTY. Este programa é um software livre que pode ser utilizado para emulação de terminal e suporta conexão direta via telnet.

Os eventos acontecem entre 400 a 500 milissegundos coletando os dados no formato proprietário do fabricante da Fanuc e os converte em formato SHDR (Representação de Dados Hierárquicos Simples) representado por barras (|). Este formato está relacionado com o formato de data/hora estabelecido pela norma ISO 8601, conforme Figura 32, que também ilustra algumas informações úteis em destaque.

Figura 32 – Arquivo parcial de texto gerado pelo Adaptador *MTConnect*

```

== PuTTY log 2019.05.24 19:47:51 ==
2019-05-24T22:47:50.894Z|message||PLACA ABERTA-ESQ
2019-05-
24T22:47:50.894Z|avail|AVAILABLE|part_count|0|SspeedOvr|50|Fovr|100|tool_id|100|program|51.51|program_comment|UNAVA
51(C1S-LADO2)|path_feedrate|0|path_position|13.9260000000 0.0000000000 5.0000000000|active_axes|X Z C|mode|AUTOMATIC
2019-05-24T22:47:50.894Z|servo|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|comms|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|logic|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|motion|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|system|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|execution|STOPPED|f_command|0|estop|ARMED|Xact|-182.561|Xload|20
2019-05-24T22:47:50.894Z|Xtravel|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Xoverheat|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Xservo|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Zact|-297.913|Zload|8
2019-05-24T22:47:50.894Z|Ztravel|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Zoverheat|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Zservo|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Cact|0|Cload|0
2019-05-24T22:47:50.894Z|Ctravel|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Coverheat|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|Cservo|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|S1speed|0|S1load|0
2019-05-24T22:47:50.894Z|S1servo|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:50.894Z|S2speed|0|S2load|0
2019-05-24T22:47:50.894Z|S2servo|NORMAL|||
2019-05-24T22:47:51.261Z|S2load|1
2019-05-24T22:47:51.712Z|Zload|9|S2load|0
2019-05-24T22:47:53.056Z|line|650|block|N630G21G40G90G95|path_feedrate|14142|path_position|37.9260000000 0.0000000000

```

Fonte: Elaborada pelo autor.

O adaptador envia os dados para a porta definida com os valores de (data/hora), velocidade do eixo rotacional principal (S1speed), carga do eixo rotacional (S1load), entre outras.

É possível configurar o agente *MTConnect* para extrair os nomes dos parâmetros e valores contido entre as barras, configurando a estrutura de dados do CNC. Esta estrutura pode ser definida no arquivo `devices.xml`, mas neste trabalho foi utilizado somente o programa **PuTTY** para gerar o arquivo de dados.

Diversas informações foram disponibilizadas pelo adaptador *MTConnect*, e cada uma delas separadas por um delimitador "|", no entanto as mais importantes para o nosso trabalho são:

- Data e hora da usinagem;
- Xload: carga do eixo X da máquina;
- Zload: carga do eixo Z da máquina;
- S1load: carga do Spindle da máquina.
- S1speed: rotação do Spindle da máquina.
- block: bloco do código do programa NC;
- path_position: coordenadas X, Y e Z

4.4.1 Utilização da linguagem Python

A linguagem adotada para trabalhar com a análise dos dados foi o *Python*⁵, por ser uma linguagem que reúne características surpreendentes mesmo para programadores com pouca experiência em programação.

Para um cientista de dados, um trabalho bem reconhecido é aquele em que as informações são transformadas em visualizações precisas após o tratamento dos dados em bruto, e neste contexto a linguagem de programação *Python* fornece recursos e bibliotecas robustas para tais atividades de mineração e análise visual dos dados.

A linguagem de programação *Python* possui relevantes bibliotecas que agilizam a análise dos dados, tais como: *Pandas*, *NumPy*, *SciPy*, *Matplotlib* e muitas outras que são indispensáveis para os cientista de dados e possui também uma das mais ativas comunidades de programação.

Foi utilizado também uma importante ferramenta chamada *Jupyter Notebook*,⁶ na qual é possível executar diversas linhas com os códigos do programa localizados em células distintas, podendo ainda movê-las para cima ou para baixo e apresentando os resultados abaixo de cada linha de código flexibilizando assim todo o fluxo de programação.

A biblioteca *Pandas* e *Matplotlib* foi carregada para iniciar a análise dos dados, conforme Algoritmo 4.4.2.

4.4.2 Carregando as Bibliotecas

```
1: import pandas as pd
2: import matplotlib.pyplot as plt
3: # "matplotlib inline" mostra os gráficos diretamente no notebook
4: % matplotlib inline
```

Código-fonte 3 – Carregando as bibliotecas *Pandas* e *Matplotlib*.

A biblioteca *Pandas* é uma das mais utilizadas no *Python*, pois ela é muito útil quando necessitamos fazer algum tratamento nos dados de uma tabela. Com o *Pandas* é possível manipular diversas tabelas, filtrando, organizando e criando um novo *DataFrame*⁷ com outros tipos de manipulações. No entanto, não foi possível manipular o arquivo de texto recebido pelo adaptador *MTConnect* diretamente com ela, devido a inexistência de um padrão para as colunas dos dados.

⁵ Portal Python. Disponível em: <<https://python.org/>>. Acesso em: 19 Julho 2019.

⁶ Portal Python. Disponível em: <<https://jupyter.org/>>. Acesso em: 19 Julho 2019.

⁷ *DataFrame*: "A estrutura de dados também contém eixos rotulados (linhas e colunas)". Disponível em: <<http://twixar.me/DdR1>>. Acesso em 20 Março 2020

Para criar uma tabela com colunas de dados padronizados foi necessário executar a leitura do arquivo de texto gerado pelo adaptador *MTConnect* e criar uma nova tabela de dados somente com algumas variáveis de interesse. Dessa forma fica mais fácil usar a biblioteca *Pandas* para fazer uma análise da carga dos eixos X e Z da máquina a cada milissegundo. Para esse propósito foi necessário criar uma nova tabela de dados utilizando o recurso de dicionário de dados disponível na linguagem *Python* conforme mostra o Algoritmo 4.4.3.

A linguagem *Python* possui um tipo diferente de dados chamado "dicionário" que possibilita fazer um mapeamento das variáveis de interesse a partir de uma palavra chave.

4.4.3 Dicionário de dados

```
1: dados=[] # Cria uma lista vazia
2: with open('data.log','r') as file:
3:     for linha in file:
4:         dados.append(linha.rstrip('\n').split('|'))
5: coluna=['DateTime','Xload','Zload','Sload','Slspeed','block']
6: dados_dic = []
7: for linha in dados:
8:     temp={} # cria um dicionário vazio para armazenar novos dados
9:     temp['DateTime']=linha[0]
10:    for i in range(1,len(linha)-1):
11:        if linha[i] in coluna:
12:            temp[linha[i]]=linha[i+1]
13:
14:    for c in coluna:
15:        if c not in temp:
16:            temp[c] = '' # para linhas que não têm a propriedade
17:            dados_dic.append(temp)
18: df = pd.DataFrame(dados_dic)
19: print(df.dtypes) # Mostra os tipos de dados do Dataframe
```

Código-fonte 4 – Criando nova tabela de dados em Python.

Fonte: Stackoverflow <http://twixar.me/fGR1> (Adaptado)

Os tipos de dados visualizados após o comando *print(df.dtypes)* mostraram que todas as variáveis coletadas pelo dicionário de dados estavam como tipo de dados *object*. Esta representação é do tipo *string* e precisou passar por uma conversão para número, uma vez que não seria possível manipular as informações para as variáveis **Xload** e **Zload**, que representam a carga do eixo **X** e **Z** respectivamente e contém valores numéricos.

A nova tabela da Figura 33 representa um *DataFrame* com eixos classificados em linhas/colunas e possui uma estrutura de dados em forma de tabela bidimensional. Essa nova tabela de dados pode ser modificada e apresenta diversas informações sobre a nossa usinagem.

Figura 33 – Visão parcial do novo DataFrame.

	DateTime	S1load	S1speed	Xload	Zload	block
0	2019-05-24T22:47:50.894Z					
1	2019-05-24T22:47:50.894Z					O0051(C1S-LADO2)
2	2019-05-24T22:47:50.894Z					
3	2019-05-24T22:47:50.894Z

24	2019-05-24T22:47:51.712Z				9	
25	2019-05-24T22:47:53.056Z			88	60	N630G21G40G90G95
26	2019-05-24T22:47:53.497Z			49	20	N650G28U0W0
27	2019-05-24T22:47:53.932Z			43	17	
28	2019-05-24T22:47:54.428Z			38	14	
29	2019-05-24T22:47:54.892Z				40	
30	2019-05-24T22:47:55.360Z	110	402	36	5	N680G92S2500M4
31	2019-05-24T22:47:55.852Z	5	701	64	17	N690G0X68Z5.8M8
32	2019-05-24T22:47:56.348Z	2		20	16	
33	2019-05-24T22:47:56.812Z		700	21	19	
34	2019-05-24T22:47:57.308Z		701		21	
35	2019-05-24T22:47:57.772Z	3	733	12	10	N700G75X-2R1Z0.2P35000Q800F0.25
36	2019-05-24T22:47:58.268Z		768	13		

Fonte: Elaborada pelo autor

A estrutura do *DataFrame* é identificada por três elementos principais, linhas, colunas e dados conforme Figura 34

Figura 34 – Elementos do DataFrame.

O diagrama mostra a estrutura de um DataFrame com as seguintes colunas: DateTime, S1load, S1speed, Xload, Zload e block. As linhas são numeradas de 25 a 36. Os dados são representados por valores numéricos e strings. Alguns valores são destacados com caixas vermelhas: 2019-05-24T22:47:53.056Z, 3, 733, 12, 10, 768, 13 e N700G75X-2R1Z0.2P35000Q800F0.25.

	DateTime	S1load	S1speed	Xload	Zload	block
25	2019-05-24T22:47:53.056Z			88	60	N630G21G40G90G95
26	2019-05-24T22:47:53.497Z			49	20	N650G28U0W0
27	2019-05-24T22:47:53.932Z			43	17	
28	2019-05-24T22:47:54.428Z			38	14	
29	2019-05-24T22:47:54.892Z				40	
30	2019-05-24T22:47:55.360Z	110	402	36	5	N680G92S2500M4
31	2019-05-24T22:47:55.852Z	5	701	64	17	N690G0X68Z5.8M8
32	2019-05-24T22:47:56.348Z	2		20	16	
33	2019-05-24T22:47:56.812Z		700	21	19	
34	2019-05-24T22:47:57.308Z		701		21	
35	2019-05-24T22:47:57.772Z	3	733	12	10	N700G75X-2R1Z0.2P35000Q800F0.25
36	2019-05-24T22:47:58.268Z		768	13		

Fonte: Elaborada pelo autor

É possível observar os valores que ocorrem entre 400 a 500 milissegundos e em qual momento do programa CNC está a informação do esforço de corte da ferramenta, podendo assim analisar diferentes ferramentas de corte e comparar de forma gráfica o desempenho dos mais diferentes tipos de ferramentas.

As operações mais comuns que podem ser executadas no *Pandas DataFrame* são: criar um DataFrame, trabalhar com linhas/colunas com indexação e seleção de dados, manipular dados ausentes e interagir sobre as linhas e colunas.

A biblioteca *Pandas* é muito útil para criar *insights* rápidos e gráficos mais comuns, no entanto os métodos de gráficos em séries ou estrutura de dados, são versões simples das funções do *Matplotlib* e podemos gerar as visualizações usando-as de modo intercambiável.

A biblioteca *Matplotlib* é utilizada em Python para visualização de dados, possibilitando criar gráficos bidimensionais com poucos códigos de programa. Essa biblioteca possui vários tipos de gráficos, como histogramas, barras, linha, pizza e outros.

A linguagem *Python* trabalha com diferentes tipos de dados:

- Numérico: armazena valores numéricos como (inteiro, flutuante e número complexo);
- String: sequência de caracteres;
- Lista: coleção ordenada de um ou mais itens de dados e pode conter simultaneamente diferentes tipos de dados;

- Tupla: semelhante a lista porém imutável e protegidos contra gravação;
- Dicionário: valores-chave formato por uma coleção não ordenada de dados.

Os gráficos iniciais serão gerados analisando dois diferentes geometrias de corte e de fabricantes distintos de ferramenta, mas inicialmente faremos algumas observações rápidas sobre nosso *DataFrame*. O Código-fonte 4.4.4 foi utilizado para converter os dados tipo *string* (object) para *float*.

4.4.4 Convertendo tipos de dados

```
1: df['S1load']=pd.to_numeric(df.S1load)
2: df['S1speed']=pd.to_numeric(df.S1speed)
3: df['Xload']=pd.to_numeric(df.Xload)
4: df['Zload']=pd.to_numeric(df.Zload)
```

Código-fonte 5 – Convertendo dados tipo *object* para *float*.

A nova tabela preencheu os campos sem valores com um atributo **NaN**, conforme mostra a Figura 35.

Figura 35 – Valor sentinela NaN

	DateTime	S1load	S1speed	Xload	Zload	block
25	2019-05-24T22:47:53.056Z	NaN	NaN	88.0	60.0	N630G21G40G90G95
26	2019-05-24T22:47:53.497Z	NaN	NaN	49.0	20.0	N650G28U0W0
27	2019-05-24T22:47:53.932Z	NaN	NaN	43.0	17.0	
28	2019-05-24T22:47:54.428Z	NaN	NaN	38.0	14.0	
29	2019-05-24T22:47:54.892Z	NaN	NaN	NaN	40.0	
30	2019-05-24T22:47:55.360Z	110.0	402.0	36.0	5.0	N680G92S2500M4
31	2019-05-24T22:47:55.852Z	5.0	701.0	64.0	17.0	N690G0X68Z5.8M8
32	2019-05-24T22:47:56.348Z	2.0	NaN	20.0	16.0	
33	2019-05-24T22:47:56.812Z	NaN	700.0	21.0	19.0	
34	2019-05-24T22:47:57.308Z	NaN	701.0	NaN	21.0	
35	2019-05-24T22:47:57.772Z	3.0	733.0	12.0	10.0	N700G75X-2R1Z0.2P35000Q800F0.25
36	2019-05-24T22:47:58.268Z	NaN	768.0	13.0	NaN	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dados ausentes são comuns em muitas aplicações e neste contexto o *Pandas* facilita o nosso trabalho com elementos faltantes e deixa o mais funcional possível. Valores numéricos inexistentes ou ausentes são representados pelo símbolo **NaN** (*Not a Number*), também conhecido como valor sentinela e geralmente é usado em programação. Na nossa base de dados, os valores

ausentes informam que em determinado momento não havia valores para aquela determinada variável, pelo simples motivo do eixo ou movimento estar inativo naquele determinado instante.

No mundo real os dados nem sempre estão limpos e uniformes. Durante a coleta dos dados, os valores ausentes precisam ser entendidos e manipulados para evitar redução na qualidade ou métricas de desempenho durante o processamento. A falta de dados homogêneos pode gerar previsões incorretas.

Os Pandas geralmente identifica valores ausentes como NaN, mas dependendo do tipo de processamento tais valores inexistentes podem ser um ponto de interrogação (?), zero (0), menos um (-1) ou simplesmente um espaço em branco. Sendo assim, é sempre prudente uma análise exploratória de dados para conhecer o seu comportamento.

Neste capítulo foi possível verificar as configurações para o comando Fanuc Oi-TD, assim como o arquivo *adapter.ini* do padrão *MTConnect*. Após a extração dos dados da máquina foi preciso utilizar o dicionário de dados do *Python* para selecionar as informações úteis e criar um novo *DataFrame* consistente. Atualmente existem inúmeros fabricantes de máquinas e no capítulo 5 será abordado algumas características das máquinas e ferramentas utilizadas neste trabalho.

MÁQUINAS E FERRAMENTAS

Neste capítulo, serão apresentados as características de dois tipos de máquinas disponíveis para este trabalho. No entanto foi utilizado o torno Romi GL240M com comando FANUC 0i-TD, pois os opcionais já estavam disponíveis para configurar as bibliotecas FOCAS e utilizar o padrão *MTConnect* para extrair os dados de usinagem. Os princípios básicos de corte dos metais e os tipos de movimento que ocorrem durante o processo de usinagem também serão descritos.

5.1 Torno Romi GL240M

Os ensaios empíricos foram realizados num Centro de Torneamento Romi modelo GL240M com comando Fanuc 0i-TD. A máquina CNC é ilustrada na Figura 36.

Figura 36 – Centro de Torneamento Romi GL240M Comando Fanuc 0i-TD.

Fonte: Elaborada pelo autor. (SENAI 6.03)

Na Figura 37 é ilustrada as dimensões em milímetro da máquina GL240M.

Figura 37 – Dimensões Romi GL240M

Fonte: <http://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>

Na Figura 38 é ilustrado o layout de trabalho para torre tipo T ou M com disco padrão VDI-30.

Figura 38 – Layout de trabalho para torre padrão VDI

Fonte: <http://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>

Para a usinagem com ferramenta com acionamento (axial/radial) para torre tipo M com disco padrão VDI-30, temos layout de trabalho conforme Figura 39.

Figura 39 – Layout de trabalho para torre padrão VDI com acionamento axial e radial

Fonte:<http://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>

Temos na Figura 40 a representação do disco porta-ferramentas para o padrão VDI-30 para as torres tipo T e M. É possível identificar diversas informações importantes para a montagem das ferramentas, como diâmetro máximo de 260 mm para usinagem da peça, diâmetro máximo de 470 mm para montagem das ferramentas, entre outras.

Figura 40 – Disco porta-ferramentas

Fonte:<http://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>

A máquina possibilita a usinagem de uma peça com vários tipos de suporte, conforme ilustrado na Figura 41. Para este trabalho foi utilizado o suporte de ferramenta para torneamento externo.

Figura 41 – Suporte e buchas para ferramentas

Fonte: <http://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>

5.1.1 Características do Comando Fanuc 0i-TD

O comando Fanuc 0i-TD ilustrado na Figura 42, possui diversas características importantes para o bom funcionamento da máquina GL240M e podemos destacar as mais significativas em relação aos recursos e desempenho: Incremento mínimo dos eixos de 0,001 mm, controle simultâneo de até 4 eixos, interface *Ethernet*, controlador de peça, compensação de erro de passo do fuso, entre outras.

Figura 42 – Comando Fanuc 0i-TD

Fonte: <http://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>

5.1.2 Centro de Usinagem Romi D800

O Centro de Usinagem Vertical Romi modelo D800 com comando Fanuc 0i-MC não possui os softwares instalados para realizar a extração dos dados de usinagem. Além da aquisição da biblioteca FOCAS código A02B-0207-K737 é necessário também a instalação dos seguintes softwares opcionais:

- Ethernet Function (A02B-0310-S707)
- Instalação de opcionais (506002PF)

O centro de usinagem Romi D800 é ilustrado na Figura 43.

Figura 43 – Centro de Usinagem Romi D800.

Fonte: Elaborada pelo autor. (SENAI 6.03)

De acordo com o catálogo da Romi, a máquina-ferramenta D800, Figura 44, foi projetada em sistema CAD 3D e possui sua estrutura dimensionada por software de cálculo por elementos finitos o que resulta numa estrutura adequada e robusta para usinagem de peças.

Figura 44 – Estrutura Centro de Usinagem Romi D800

Fonte: Catálogo Romi

5.1.3 Especificações Técnicas

Abaixo segue as principais especificações técnicas da máquina D800:

- Cabeçote com eixo-árvore cone ISO 40, com faixa de velocidades de 7 a 7.500 rpm.
- Comando CNC Fanuc 0i - MC (para Romi D 600 e Romi D 800 Standard).
- CNC Fanuc 21i - MB, com Diferenciadores Romi para usinagem de Moldes e Matrizes (para Romi D 800 Alta Performance).
- Painel de operação auxiliar manual (handwheel) com funções de manivela e jog para eixos.
- Pintura standard: esmalte epoxi texturizado azul Munsell 10B-3/4 e esmalte epoxi texturizado cinza claro RAL 7035.
- Porta principal com trava elétrica de segurança
- Sistema de lubrificação centralizada automática com filtro de linha, para guias e fusos de esferas
- Sistema pneumático para limpeza do cone do eixo-árvore e travamento da ferramenta.
- Sistema de refrigeração de corte com pressão de 2 bar, vazão 20 l/m, tanque removível com volume de 300 litros.

- Trocador de ferramentas com braço automático para 30 ferramentas BT 40 (para Romi D 800).

5.1.4 Eixo-árvore

O eixo-árvore é acionado pelo motor *Spindle* através de correias, que por sua vez está montado no conjunto chamado de cartucho do cabeçote, conforme ilustrado na Figura 45.

Figura 45 – Conjunto do cabeçote.

Fonte: Catálogo Romi (T12030)

Sua função é a de produzir a rotação de giro da ferramenta acoplada no cone ISO 40. O cartucho do cabeçote pesa 39 kg, o motor *Spindle* 80 kg e corpo do cabeçote possui 240,5 kg.

5.1.5 Eixo X

O eixo X é responsável pelo deslocamento da mesa no sentido longitudinal e o acionamento é feito através do servomotor (1) e acoplado no fuso de esferas(2), conforme ilustrado na Figura 46.

Figura 46 – Conjunto do cabeçote.

Fonte: Catálogo Romi (T13165)

5.2 Princípio de Corte dos Metais

O objetivo deste capítulo é levantar alguns conceitos importantes sobre ferramentas de usinagem, já que no setor da indústria metalmeccânica emprega-se diferentes tipos de ferramentas e com as mais variadas geometrias de corte.

A usinagem de metais é um processo de fabricação utilizado em vários setores da indústria de transformação. Operações de usinagem são aquelas que transformam um material produzindo cavaco. De acordo com [Ferraesi \(1977\)](#), o cavaco é definido como uma parte do material que saiu da peça pela ação da ferramenta de corte.

Na usinagem dos materiais metálicos ocorre um cisalhamento que é a deformação do material em função das forças resultantes entre a peça e ferramenta de corte. Esta ação provoca o deslocamento em diferentes planos mas mantém o volume do cavaco de forma constante. ([MACHADO; SILVA, 2004](#))

O princípio de corte utilizado em máquinas-ferramenta é fundamentado através de movimentos que ocorrem entre a peça e a ferramenta de corte.

Os movimentos e relações geométricas que ocorrem na usinagem dos metais é tratado pela norma ABNT NBR 6162 NB 204 - 1989 ([ABNT, 1989](#)). Esta norma abrange todos os processos de usinagem e trata de conceitos sobre movimentos e relações geométricas.

5.2.1 Tipos de Movimentos

Os tipos de movimentos que ocorrem entre a aresta de corte e a ferramenta gerando remoção do cavaco são:

- Movimento efetivo: movimento resultante do processo de usinagem.
- Movimento de corte: Movimento que ocorre durante uma rotação, não possui movimento de avanço e gera apenas uma remoção de cavaco.

- Movimento de avanço: movimento que ocorre em conjunto com ferramenta, a peça e o movimento de corte, proporcionando remoção contínua de material da peça.

Movimentos que não estão ligados diretamente com a remoção de cavacos e relativos a aresta de corte da ferramenta e a peça:

- Movimento de aproximação: Movimento de aproximação da ferramenta no início da usinagem.
- Movimento de recuo: movimento de recuo da ferramenta após sua usinagem.
- Movimento de ajuste: movimento que determina a espessura do material (profundidade de corte no material).
- Movimento de correção: movimento para compensar alterações no desgaste da ferramenta ou variações térmicas.

5.2.2 Direção dos Movimentos

A Figura 47 ilustra as direções para movimentos de corte e apresenta as seguintes características:

- Direção de corte: direção imediata do movimento e relativa a profundidade de corte.
- Direção de avanço: direção imediata do movimento de avanço.
- Direção efetiva: direção imediata do movimento efetivo de corte.

Figura 47 – Direção dos movimentos de corte no torneamento.

5.2.3 Velocidades

Para que ocorra a usinagem com remoção de cavaco é necessário que haja rotação da peça (RPM), avanço e profundidade de corte da ferramenta.

A velocidade de Corte VC é calculada em metros por minuto (m/min), conforme fórmula da Equação 5.1, e pode ser utilizada em processos de torneamento, entre outros.

$$VC = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (5.1)$$

Usinagem em torneamento:

- d = diâmetro da peça;
- n = número de rotações por minuto (RPM).

A função G96 do programa CNC representa uma velocidade de corte constante. O objetivo desta função é criar uma variação calculada do RPM em função do diâmetro de contato da aresta de corte com a superfície da peça.

A velocidade de corte é dada em metros por minuto (m/min) e cada fabricante de ferramentas define os valores mínimos e máximos:

A velocidade de avanço para o torneamento é determinada pelo fabricante e representa o percurso de avanço em cada rotação da peça (mm/rot):

5.3 Pastilha para Torneamento

Segundo [Koenigsberger \(2013\)](#), os fabricantes e usuários de máquinas ferramenta buscam constantemente melhorias nos processos de fabricação e produto visando uma melhor eficiência qualitativa e quantitativa para as suas máquinas, destacando uma constante evolução nas tecnologias que envolvem novos processos de fabricação, ferramentas, materiais entre outros.

Existem diferentes geometrias de pastilha atualmente e vários fatores influenciam no desempenho durante a usinagem de uma peça. Podemos encontrar pastilhas com geometrias dedicadas para diferentes faixas de avanço, profundidade de corte e os mais variados tipos de materiais da peça, conforme ilustrado na Figura 48.

Figura 48 – Tipos de pastilhas para torneamento.

Fonte: Catálogo Sandvik

5.3.1 Metal duro

O metal duro é um material proveniente do processo da metalurgia do pó e possui um composto de partículas de carboneto de tungstênio (WC) e cobalto metálico (Co). O metal duro é moldado através de prensagem do pó metálico dentro de um molde com o formato da pastilha e posteriormente levado ao forno de sinterização fazendo com que as partículas se aproximem melhorando a resistência mecânica.

Podemos encontrar ferramentas de corte de metal duro com cobertura PVD (*Physical Vapour Deposition*) e CVD (*Chemical Vapor Deposition*). Os processos de cobertura PVD e CVD tem o objetivo de melhorar a resistência ao desgaste gerado pelo atrito entre a aresta de corte e a superfície da peça.

5.3.2 Aplicação de Coberturas PVD e CVD

De acordo com a Sandvik¹ as classes com cobertura PVD são recomendadas para:

...para arestas de corte tenazes e afiadas, bem como para materiais com tendência a abrasão. Existem muitas destas aplicações e elas incluem todas as fresas e brocas inteiriças e a maioria das classes para usinagem de canais, rosqueamento e fresamento. As classes com cobertura PVD também são amplamente usadas para aplicações de acabamento e como classe de pastilha central na furação.

As classes com cobertura CVD são geradas por reações químicas em temperaturas de 700-1050 graus célcios. Este tipo de classe proporciona alta resistência ao desgaste e excelente aderência na superfície da pastilha.

¹ Sandvik: Ferramentas de corte. Fonte: <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>> Acesso: 18 outubro 2019

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos fabricantes de máquinas-ferramenta possuem uma arquitetura fechada ou acesso pago a bibliotecas e isso dificulta a coleta das informações geradas no chão de fábrica. Desta forma há mais dificuldade na produção do conhecimento, uma vez que, mais esforços e investimentos são necessários para a aquisição e análise dos dados.

Estas análises estão voltadas para os esforços dos motores de acionamento gerados pela máquina CNC durante a usinagem de uma peça. Tais esforços ocorrem em função da carga de utilização do eixo transversal (Xload), longitudinal (Zload) e rotacional (S1load). A partir destas análises é possível identificar qual ferramenta propicia uma menor porcentagem de carga dos eixos durante uma usinagem. Sendo assim, além de melhorar o processo de usinagem em função de uma melhor escolha do ferramental, este tipo de análise poderá ser utilizado pelos fabricantes de ferramentas para desenvolver geometrias de corte que garantam uma menor carga de utilização dos eixos da máquina.

6.0.1 Usinagem em Vazio (Xload)

A análise dos dados para este trabalho foi realizada após cada etapa de extração e iniciada com duas sequências de usinagem em vazio. Este tipo de usinagem tem como objetivo simular os movimentos dos eixos "X" e "Z" da máquina CNC, sem o contato direto entre a ferramenta e a peça.

No Apêndice B encontra-se a sequência de programação utilizada no ciclo de faceamento G75 e contempla sucessivas movimentações com avanços rápidos (G00) e avanços programados (G01) para o eixo "X" da máquina CNC. Dois arquivos ".log" com os dados que foram analisados em *Python* para criar os *DataFrames* 1 e 2 e gerar as visualizações gráficas da variável "Xload".

A variável "Xload" em análise representa um identificador pertencente ao protocolo *MTConnect* e nela são armazenadas as informações sobre a carga de utilização do eixo "X" da máquina em (%).

As Figuras 49 e 50 contemplam os gráficos de linha para duas usinagens em vazio e a análise dos mesmos teve como finalidade verificar a repetibilidade dos dados coletados em função de processos análogos.

Figura 49 – *DataFrame* 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 50 – *DataFrame* 2: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi possível observar nestes gráficos a existência de algumas descontinuidades no traçado das linhas que foram causadas devido a existências de dados nulos (NaN) na base de dados, conforme visualização parcial do *DataFrame* 1, Figura 51.

Figura 51 – Dados Nulos (NaN). Fonte pessoal

	DateTime	Xload
0	2019-10-10 22:54:11.205	NaN
1	2019-10-10 22:54:11.205	NaN
2	2019-10-10 22:54:11.205	NaN
↓		
120	2019-10-10 22:55:02.233	14.0
121	2019-10-10 22:55:02.654	16.0
122	2019-10-10 22:55:03.060	14.0
123	2019-10-10 22:55:03.450	NaN
124	2019-10-10 22:55:03.855	23.0
125	2019-10-10 22:55:04.261	98.0

Fonte: Elaborada pelo autor.

A etapa de limpeza faz parte do processo de análise exploratória dos dados e ela é muito importante para corrigir possíveis inconsistências. Os dados nulos representavam dados inexistentes naquele determinado instante (tempo) e a remoção de tais dados não causaram prejuízos nas análises e ainda melhorou a visualização dos dados, conforme as Figuras 52 e 53.

Figura 52 – *DataFrame* 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio sem NaN).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 53 – *DataFrame 2*: Gráfico de linha (Usinagem em vazio sem NaN).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para facilitar a localização de mais informações úteis em nossa base de dados *DataFrame* foi necessário acrescentar no dicionário de dados do *Python* as variáveis "*block*" e "*path_position*", conforme o Algoritmo 6.0.2.

6.0.2 Dicionário de dados em *Python*.

```

1: dados=[] # Cria uma lista vazia
2: with open('data.log','r') as file:
3:     for linha in file:
4:         dados.append(linha.rstrip('\n').split('|'))
5: coluna =['DateTime','Xload','block','path_position']
6: dados_dic = []
7: for linha in dados:
8:     temp={} # cria um dicionário vazio para armazenar novos dados
9:     temp['DateTime']=linha[0]
10:    for i in range(1,len(linha)-1):
11:        if linha[i] in coluna:
12:            temp[linha[i]]=linha[i+1]
13:
14:    for c in coluna:
15:        if c not in temp:
16:            temp[c] = '' # para linhas que não têm a propriedade
17:            dados_dic.append(temp)

```

Código-fonte 6 – Variáveis *block* e *path_position*

Fonte: Stackoverflow <http://twixar.me/fGR1> (Adaptado)

Após a inclusão das variáveis foi possível perceber na coluna "*block*" o início do ciclo de faceamento G75 e na coluna "*path_position*" a localização das coordenadas cartesianas "X53.843" e "Z7.2" para o posicionamento da ferramenta de corte em relação ao zero peça, conforme ilustrado na Figura 54.

Figura 54 – *DataFrame* 1: início e final da usinagem.

	DateTime	Xload	block	path_position
0	2019-10-10 22:54:11.205	NaN		
1	2019-10-10 22:54:11.205	NaN	O0777(USP-MTCONNECT)	196.5400000000 0.0000000000 318.0430000000
2	2019-10-10 22:54:11.205	NaN		
38	2019-10-10 22:54:27.336	15.0		106.6860000000 0.0000000000 120.7100000000
39	2019-10-10 22:54:27.804	NaN		70.2580000000 0.0000000000 40.7100000000
40	2019-10-10 22:54:28.272	14.0	N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25	53.8430000000 0.0000000000 7.2000000000
41	2019-10-10 22:54:28.740	15.0		46.3440000000 0.0000000000 7.2000000000
124	2019-10-10 22:55:03.855	23.0		55.0000000000 0.0000000000 1.0000000000
125	2019-10-10 22:55:04.261	98.0	N85G28U0W0	84.3330000000 0.0000000000 21.8670000000

Fonte: Elaborada pelo autor.

O comando "*iloc*" do *Pandas* foi utilizado para criar um filtro entre os índices de 40 a 124 com o objetivo de selecionar somente as informações que continham os dados de início e fim da usinagem em vazio. Em seguida os índices dos *DataFrames* foram redefinidos para plotar o novo gráfico, conforme Figura 55.

Figura 55 – *DataFrame* 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir do novo gráfico foi possível observar sete picos com a porcentagem de carga "Xload" acima de 50%. Tais picos indicavam a movimentação da ferramenta com velocidade máxima (G00) para o deslocamento dos eixos "X" e "Z" da máquina. Já as informações contidas entre 10 e 20% apontavam os movimentos mais lentos gerados através do avanço programado (G01) de 0,25 mm/rot (milímetros por rotação).

Observamos que nem todo movimento dos eixos da máquina em rápido (G00) registraram valores elevados para a carga do eixo "X" e de acordo com os índices 43 e 50 da Figura 56 o valor registrado foi somente de 22%.

Figura 56 – *DataFrame* 1: Valores baixos para G00.

	DateTime	Xload	block	path_position
41	2019-10-10 22:54:48.708	14.0	5.6490000000 0.0000000000	3.2000000000
42	2019-10-10 22:54:49.098	15.0	-2.0000000000 0.0000000000	3.2000000000
43	2019-10-10 22:54:49.503	22.0	55.0000000000 0.0000000000	4.2000000000
44	2019-10-10 22:54:49.909	17.0	52.1880000000 0.0000000000	2.4000000000
45	2019-10-10 22:54:50.314	16.0	46.6130000000 0.0000000000	2.4000000000
46	2019-10-10 22:54:50.720	15.0	39.0510000000 0.0000000000	2.4000000000
47	2019-10-10 22:54:51.906	17.0	14.4640000000 0.0000000000	2.4000000000
48	2019-10-10 22:54:52.296	14.0	5.8150000000 0.0000000000	2.4000000000
49	2019-10-10 22:54:52.686	18.0	-2.0000000000 0.0000000000	2.4000000000
50	2019-10-10 22:54:53.091	22.0	55.0000000000 0.0000000000	3.4000000000
51	2019-10-10 22:54:53.481	16.0	52.7850000000 0.0000000000	1.6000000000

Fonte: Elaborada pelo autor.

O registro das informações dos índices 42 a 43 e 49 a 50 ocorreram num intervalo de tempo de 405 milissegundos e não houve registro entre as coordenadas "X-2" e "X55". A partir da coordenada "X55" ocorreu uma desaceleração no movimento dos eixos da máquina resultando em baixa porcentagem de carga. A falta de coordenadas coletadas com valores menores em milissegundos entre as coordenadas de início e fim de deslocamento do eixo da máquina podem gerar uma interpretação equivocada dos dados.

A Figura 57 ilustra o gráfico com seis picos acima de 40% identificando movimentos rápidos em (G00) para o deslocamento do eixo "X" da máquina. As inconsistências encontradas apresentaram as mesmas características relacionadas ao posicionamento da coordenada "X55". Entretanto, durante a análise do *DataFrame* 2 da Figura 58 foi verificado que os valores encontrados nos índices 25 e 39 estavam dentro da faixa dos valores para o deslocamento com avanço programado (G01) ou seja, entre 10 e 20%. Os índices 32 e 45 continham valores ainda menores e todas essas irregularidades também foram causadas em função da falta de valores intermediários entre os deslocamentos dos eixos da máquina.

Figura 57 – DataFrame 2: Gráfico de linha (Usinagem em vazio).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 58 – DataFrame 2: Valores baixos para G00.

	DateTime	Xload	block	path_position
24	2019-10-10 23:08:00.420	19.0	-2.0000000000 0.0000000000 4.8000000000	
25	2019-10-10 23:08:00.857	17.0	55.0000000000 0.0000000000 5.8000000000	
31	2019-10-10 23:08:03.961	14.0	-2.0000000000 0.0000000000 4.0000000000	
32	2019-10-10 23:08:04.398	6.0	55.0000000000 0.0000000000 5.0000000000	
38	2019-10-10 23:08:07.081	14.0	7.4790000000 0.0000000000 3.2000000000	
39	2019-10-10 23:08:07.971	17.0	55.0000000000 0.0000000000 4.2000000000	
44	2019-10-10 23:08:10.701	15.0	6.9790000000 0.0000000000 2.4000000000	
45	2019-10-10 23:08:11.590	4.0	55.0000000000 0.0000000000 3.4000000000	

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.0.3 Usinagem em Vazio (S1load)

A finalidade desta análise foi verificar a porcentagem de carga do *Spindle* (fuso) do máquina CNC utilizando uma usinagem em vazio e comparar posteriormente com movimentos de usinagem com remoção de cavacos.

Para a análise dos dados selecionamos a variável "S1load" que é um identificador do protocolo *MTConnect* e guarda as informações relativas a porcentagem de carga do fuso durante a usinagem. Quanto maior a porcentagem de carga do fuso, maior será a solicitação do motor que está acoplado a placa do máquina CNC.

Figura 59 – *DataFrame* 1: Gráfico de linha (Usinagem em vazio vs carga do fuso).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste gráfico foi possível perceber 36 pontos localizados entre 5 e 10% e 40 pontos acima de 20%, mas somente após uma análise em conjunto com nosso *DataFrame* 1 foi possível compreender as variações mostradas neste gráfico.

Para verificar a rotação do fuso incluímos no dicionário de dados do *Python* a variável "S1speed" que pertence ao identificador do protocolo *MTConnect* e registra as informação de rotação do fuso da máquina.

No *DataFrame* 1 da Figura 60 foi possível verificar que os pontos localizados entre 5 e 10% ocorreram após a rotação se manter constante com aproximadamente 2500 RPM (Rotação por minuto).

No início da movimentação do eixo "X" a máquina acelera a rotação em função da variação do diâmetro e essa aceleração ocorre devido ao código do programa CNC "G96 S300".

A função "G96" controla a rotação em função da variação do diâmetro da peça e pode ser verificado nas colunas S1speed e "path_position" respectivamente. A coluna "path_position" possui três subdivisões e representam as coordenadas (X, Y e Z) respectivamente. A coordenada (X) representa o diâmetro da peça, a coordenada (Y) não tem existe para o comando em análise e a coordenada (Z) são as coordenadas relativas a cada movimento de usinagem com profundidade de 0,8 mm no faceamento.

Entretanto, com a utilização da função "G96" é necessário programar também a função "G92" para manter uma rotação constante a partir de um determinado diâmetro da peça. No programa CNC foi definido a função "G92 S2500" e como consequência a variável "S1load" apresentou valores entre 5 e 10% após manter tal velocidade de rotação.

Figura 60 – DataFrame 1: Variável S1load vs variável S1speed.

	DateTime	S1load	S1speed	block	path_position
40	2019-10-10 22:54:28.272	22.0	1809.0	N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25	53.8430000000 0.0000000000 7.2000000000
41	2019-10-10 22:54:28.740	36.0	2067.0		46.3440000000 0.0000000000 7.2000000000
42	2019-10-10 22:54:29.176	40.0	2503.0		38.0850000000 0.0000000000 7.2000000000
43	2019-10-10 22:54:29.613	8.0	2495.0		29.4340000000 0.0000000000 7.2000000000
44	2019-10-10 22:54:30.081	NaN	2493.0		19.4540000000 0.0000000000 7.2000000000
45	2019-10-10 22:54:30.549	7.0	NaN		10.1400000000 0.0000000000 7.2000000000
46	2019-10-10 22:54:30.986	NaN	2496.0		0.8250000000 0.0000000000 7.2000000000
47	2019-10-10 22:54:31.423	73.0	2216.0		43.3330000000 0.0000000000 8.2000000000
48	2019-10-10 22:54:31.860	23.0	1805.0		53.4920000000 0.0000000000 6.4000000000
49	2019-10-10 22:54:32.328	37.0	2109.0		46.4790000000 0.0000000000 6.4000000000
50	2019-10-10 22:54:32.796	33.0	2504.0		37.5950000000 0.0000000000 6.4000000000
51	2019-10-10 22:54:33.232	8.0	2493.0		28.9350000000 0.0000000000 6.4000000000
52	2019-10-10 22:54:33.669	7.0	2494.0		20.2860000000 0.0000000000 6.4000000000
53	2019-10-10 22:54:34.090	6.0	2493.0		10.9710000000 0.0000000000 6.4000000000
54	2019-10-10 22:54:34.527	7.0	2494.0		1.6560000000 0.0000000000 6.4000000000
55	2019-10-10 22:54:34.964	67.0	2357.0		19.3330000000 0.0000000000 7.4000000000

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.1 Usinagem efetiva (S1load)

A finalidade desta análise foi verificar a porcentagem de carga do *Spindle* (fuso) do torno CNC utilizando uma usinagem com remoção de cavacos e poderá ser comparada com a usinagem em vazio e com outros tipos de ferramentas de corte.

Foi utilizado uma nova base de dados de acordo com a arquivo ".log" disponível no Apêndice C e criamos o *DataFrame* 3. Este arquivo contém as informações de usinagem para a **Ferramenta 1**. Para a análise dos dados foi selecionado a variável "S1load" e examinado a porcentagem de carga do fuso do torno CNC durante a usinagem. A Figura 61 ilustra o resultado dessa usinagem.

Figura 61 – *DataFrame 3*: Gráfico de linha (Tempo de usinagem vs Carga do Fuso).

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 62 ilustra uma visão parcial do *DataFrame 3* e foi observado que após estabilizar a rotação do fuso em 2500 RPM os valores para a variável S1load diminuíram de forma constante e após chegar no limite mínimo de faceamento para a coordenada "X" houve um repentino aumento na carga em função da alteração do RPM.

Figura 62 – *DataFrame 3*: Tempo de usinagem vs Carga do Fuso.

	DateTime	S1load	S1speed	block	path_position
0	2019-10-10 23:14:27.130	51.0	2037.0	N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25	47.4150000000 0.0000000000 7.2000000000
1	2019-10-10 23:14:27.567	76.0	2434.0		39.3820000000 0.0000000000 7.2000000000
2	2019-10-10 23:14:28.003	27.0	2491.0		30.1250000000 0.0000000000 7.2000000000
3	2019-10-10 23:14:28.471	20.0	2493.0		20.8150000000 0.0000000000 7.2000000000
4	2019-10-10 23:14:29.345	8.0	2497.0		2.1890000000 0.0000000000 7.2000000000
5	2019-10-10 23:14:29.813	60.0	2357.0		8.6670000000 0.0000000000 8.2000000000
6	2019-10-10 23:14:30.250	27.0	1752.0		54.5380000000 0.0000000000 6.4000000000
7	2019-10-10 23:14:30.687	50.0	2003.0		48.1980000000 0.0000000000 6.4000000000
8	2019-10-10 23:14:31.139	76.0	2414.0		40.3160000000 0.0000000000 6.4000000000
9	2019-10-10 23:14:31.576	27.0	2494.0		31.1220000000 0.0000000000 6.4000000000
10	2019-10-10 23:14:32.044	21.0	2493.0		21.1470000000 0.0000000000 6.4000000000
11	2019-10-10 23:14:32.917	10.0	2495.0		3.1870000000 0.0000000000 6.4000000000
12	2019-10-10 23:14:33.354	56.0	2433.0		3.3330000000 0.0000000000 7.4000000000

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a análise com a **Ferramenta 2** foi utilizado o arquivo ".log" disponível no Apêndice D, e este arquivo contém as informações de usinagem. A variável "S1load" foi utilizada para esta análise, e a Figura 63 ilustra os dados recebidos por meio do padrão *MTCConnect*.

Figura 63 – DataFrame 4: Gráfico de linha (Tempo de usinagem vs Carga do Fuso).

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 64 ilustra uma visão parcial do DataFrame 4 e os valores decrescentes para a variável "S1load", após estabilizar a rotação com a função G92 do programa CNC.

Figura 64 – DataFrame 4: Tempo de usinagem vs Carga do Fuso.

	DateTime	S1load	S1speed	block	path_position
0	2019-10-10 23:26:13.209	45.0	2005.0	N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25	48.1970000000 0.0000000000 7.2000000000
1	2019-10-10 23:26:13.645	73.0	2373.0		40.3140000000 0.0000000000 7.2000000000
2	2019-10-10 23:26:14.082	26.0	2493.0		31.1200000000 0.0000000000 7.2000000000
3	2019-10-10 23:26:14.519	19.0	2496.0		22.4750000000 0.0000000000 7.2000000000
4	2019-10-10 23:26:15.393	9.0	2497.0		3.8490000000 0.0000000000 7.2000000000
5	2019-10-10 23:26:15.829	35.0	2495.0		-2.0000000000 0.0000000000 8.2000000000
6	2019-10-10 23:26:16.282	38.0	1733.0		55.0000000000 0.0000000000 6.4000000000
7	2019-10-10 23:26:16.734	39.0	1929.0		49.4760000000 0.0000000000 6.4000000000
8	2019-10-10 23:26:17.155	65.0	2291.0		42.4180000000 0.0000000000 6.4000000000
9	2019-10-10 23:26:17.592	27.0	2492.0		33.4490000000 0.0000000000 6.4000000000
10	2019-10-10 23:26:18.497	16.0	2493.0		14.8260000000 0.0000000000 6.4000000000
11	2019-10-10 23:26:18.934	10.0	2496.0		5.5130000000 0.0000000000 6.4000000000
12	2019-10-10 23:26:19.371	8.0	2495.0		-2.0000000000 0.0000000000 6.4000000000
13	2019-10-10 23:26:19.776	84.0	1941.0		55.0000000000 0.0000000000 7.4000000000

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao sobrepor os gráficos da Figura 61 e 63 observa-se as variações entre as ferramentas 1 e 2 no momento de cada usinagem, conforme Figura 65.

Figura 65 – *DataFrame* 3 e 4: Gráfico de linha (Tempo de usinagem vs Carga do Fuso).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste novo gráfico foi possível observar pequenas variações para ambas as ferramentas no momento da usinagem com remoção de cavacos.

A figura 66 nos mostrou um resumo estatístico dos *DataFrames* 3 e 4.

Figura 66 – Resumo estatístico dos *DataFrames* 3 e 4.

Ferramenta 1		count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
DataFrame 3									
	\$1load	80.0	33.4625	22.45555	6.0	16.75	27.0	51.25	86.0

Ferramenta 2		count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
DataFrame 4									
	\$1load	80.0	31.3125	23.048981	6.0	14.75	25.0	41.25	85.0

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além das visualizações gráficas, foi importante fazer um mapeamento estatísticos dos dados para entender como eles estão distribuídos em nosso conjunto de dados.

Utilizando a função *describe* foi possível descobrir a quantidade de registros (count), média (mean), desvio padrão (std), valores mínimos e máximos (min, max) e quartis (Q1: 25%, Q2: 50%, Q3: 75%). Após estas análises foi possível perceber que a **Ferramenta 2** apresentou uma menor carga para a rotação do fuso da máquina no momento da usinagem.

CONCLUSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões oriundas da realização da extração dos dados do torno GL240M equipado com comando Fanuc modelo 0i-TD utilizando o padrão de comunicação *MTConnect* e a biblioteca FOCAS. A indústria 4.0 trazida pela 4ª revolução industrial apresenta novos desafios para as empresas e abre caminho para que as novas tecnologias sejam empregadas com o objetivo de torná-las mais competitivas.

7.0.1 Conclusões Finais

O protocolo de comunicação *MTConnect* chegou com o objetivo de criar um padrão para a comunicação entre as máquinas que viabilize e facilite o processo de extração e a análise de dados. Entretanto, mesmo para máquinas que possuem um controlador mais avançado, ainda será preciso o trabalho de programadores com experiência para configurar e programar o software do controlador e fazer com que os dados possam ser enviados através de uma rede *ETHERNET* e na maioria das vezes essa não é uma tarefa muito trivial.

O *MTConnect* é baseado no padrão de comunicação *ETHERNET* que visa facilitar a integração com as máquinas existentes, no entanto os equipamentos mais antigos não disponibilizam um adaptador preparado para a conexão direta na máquina. Neste caso depende da biblioteca FOCAS que deve ser comprada diretamente com a empresa Fanuc para compilar e criar um aplicativo em conjunto com padrão *MTConnect* para fazer a extração dos dados da máquina.

O objetivo inicial do trabalho era extrair os dados da máquina Romi D800 com o comando Fanuc 0i-MC, mas somente com a biblioteca FOCAS não foi suficiente para concluir a comunicação *ETHERNET* e coletar os dados de usinagem para a análise.

Após inúmeros testes sem sucesso com o comando Fanuc 0i-MC, a Fanuc informou que seria necessário a biblioteca FOCAS e também mais alguns opcionais para deixar a máquina pronta para a extração dos dados via *ETHERNET*, o que acabou inviabilizando esta alternativa:

1. Função *ETHERNET* 0i-MC (02B-0310-S707);
2. Instalação do opcional (506002PF);
3. Taxas de deslocamento de técnicos da *FANUC South America*.

Em relação à extração e análises dos dados deste trabalho concluímos que:

- As tarefas de análise dos dados de usinagem na maioria das vezes dependem do conhecimento em programação de máquinas CNC segundo a norma ISO 6983. Ao investigar os dados gerados pelo comando Fanuc 0i-TD foi necessário se reportar *DataFrame* para localizar informações oriundas do programa CNC e concomitantemente com os gráficos gerados chegar as conclusões baseadas nos dados de usinagem.
- Há necessidade de conhecimentos específicos voltados para programação em *Python* e algumas bibliotecas para facilitar mineração e análise visual dos dados.
- O intervalo de extração dos dados de usinagem, apesar de estar dentro de uma faixa de 400 a 500 milissegundos, deveria diminuir em 50% do atual, pois em alguns casos, devido ao pequeno espaço percorrido pela ferramenta de corte fica faltando alguma informação entre os pontos de deslocamento da ferramenta, ocasionando uma falta de coleta de informações para medir as variações entre movimento rápido (G00) e movimento programado (G01).

A partir da análise dos gráficos gerados e da verificação em conjunto com os *DataFrames* foi possível perceber as diferenças para as medições realizadas com o propósito de identificar a demanda de utilização da carga dos eixos da máquina CNC.

Desta forma, temos a possibilidade de medir qual ferramenta apresenta uma menor solicitação de esforços dos eixos durante a usinagem de uma peça e indicar uma melhoria de processo, ou sugerir ao fabricante de ferramentas possíveis melhorias em função da geometria de corte.

Os objetivos, tanto gerais como específicos foram alcançados e após as análises gráficas e resumo estatísticos dos dados, foi possível perceber que a operação de usinagem feita com a **Ferramenta 2**, apresentou uma menor variação de carga da máquina para a rotação do fuso. Os valores médios para a carga do eixo de rotação da máquina, variável *S1load*, apresentou (33,46%) de carga do eixo para a Ferramenta 1 e (31,31%) para a Ferramenta 2, evidenciando assim uma menor solicitação do eixo de rotação no momento da usinagem para a Ferramenta 2.

7.0.2 Trabalhos futuros

As sugestões para trabalhos futuros são apresentadas com o objetivo de diversificar a coleta de dados e tipos de análise:

- Criação de rótulos específicos para os tipos de dados envolvendo a carga dos eixos da máquina para utilizar o método de agrupamento K-means que é um método de Clusterização que poderia ser utilizado para agrupamento de acordo com suas características das cargas dos eixos "X", "Z" e eixo rotacional da máquina.
- Utilizar o *Python* para criar o arquivo de dados oriundos do comando CNC em conjunto com o padrão *MTConnect* e criar gráficos em tempo real.
- Testes de usinagem utilizando diferentes tipos de fluidos de corte, uma vez que estes fluídos podem diminuir o atrito entre a ferramenta e a peça, com isso pode-se verificar a redução do consumo de potência para a carga dos eixos no momento da usinagem.
- Utilização do centro de usinagem CNC Romi D800 com comando FANUC 0i-MC com o objetivo de justificar um investimento para aquisição de opcionais não disponíveis neste comando e testar outros tipos de ferramentas de corte.

REFERÊNCIAS

- ABNT, N. 6162. **Movimentos e relações geométricas na usinagem dos metais**, 1989. Citado na página 94.
- ANDERY, M. A.; MICHELETTO, N.; SÉRIO, T. M. P.; RUBANO, D. R.; MOROZ, M.; PEREIRA, M. E. **Para Compreender a Ciência: uma perspectiva histórica**. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo: São Paulo:: EDUC, 1996. Citado na página 30.
- ANDRE, M. E. D. A. de. **Estudo de Caso em Pesquisa e Avaliação Educacional**. 3. ed. Brasília: Liber Livro, 2008. Citado na página 35.
- ANDREWS, E.; JANEK, J.; MEADOWS, D. **Guide to the Records of the Massachusetts Institute of Technology Servomechanisms Laboratory, 1940-1959 AC.0151**. 2014. Disponível em: <<https://libraries.mit.edu/archives/research/collections/collections-ac/pdf/ac151.pdf>>. Acesso em: Março 2018. Citado na página 49.
- AZEVEDO, M. T. de. **Tese: Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017. Citado na página 32.
- BELTRAME, W. A. R.; FONSECA, F. C. S. Aplicações práticas dos algoritmos de clusterização kmeans e bisecting k-means. **Departamento de Informática–Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) Av. Fernando Ferrari**, 2010. Citado na página 73.
- BENAVENTE, J. C. T. Um sistema para o projeto e fabricação de peças mecânicas a distância via internet aderente a norma iso 14649 (step-nc). **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**, 2011. Citado na página 54.
- CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2003. Citado na página 35.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.**: Trad. luciana de oliveira da rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. Citado na página 35.
- ELLIS, M. **MTConnect FANUC Adapter in Windows**. 2018. [Online; acesso Setembro 2018]. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=TwHSCewjjmE>>. Citado na página 78.
- FANUC. **Biblioteca FOCAS**. 2020. [Online; acesso Março 2020]. Disponível em: <<https://www.fanuc.eu/pt/pt/cnc/development-software/focas-development-libraries>>. Citado na página 35.
- _____. **Configuração do Protocolo de Internet**. 2020. [Online; acesso Março 2020]. Disponível em: <http://www.cnc.uk.com/wp-content/uploads/2015/05/Fanuc_0iD_Ethernet_Settings.pdf>. Citado na página 36.
- FAZENDA, I. C. A. *et al.* **Metodologia da Pesquisa Educacional: Dificuldades comuns entre os que pesquisam educação**. In: FAZENDA, I.C.A. (org.). 8. ed. São Paulo: Cortez, 2002. Citado na página 35.

- FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos materiais. **Edgard Blücher, SP**, 1977. Citado na página 94.
- FERRARI, D. G.; SILVA, L. N. D. C. **Introdução a mineração de dados**. [S.l.]: Editora Saraiva, 2017. Citado na página 69.
- FONTANA, A.; NALDI, M. C. Estudo e comparação de métodos para estimação de números de grupos em problemas de agrupamento de dados. In: ICMC. [S.l.], 2009. Citado nas páginas 71, 72 e 73.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002. Citado na página 35.
- HAN, J.; PEI, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. [S.l.]: Elsevier, 2011. Citado nas páginas 69 e 70.
- HEKIMA. O guia definitivo de big data para iniciantes. 2016. Disponível em: <<http://www.mettodo.com.br/gestao-do-conhecimento/e-books>>. Acesso em: 07/05/2018. Citado na página 61.
- HOBBSAWM, E. J. E. **Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo**. [S.l.]: Traduzido de: Industry and Empire, Editora: Forence Universitária, Rio de Janeiro R.J., 5ª edição, 2000. Citado na página 32.
- _____. **A Era das Revoluções (1798-1848)**. [S.l.]: 35º ed. Rio de Janeiro. Editora: Paz & Terra, 2015. Citado na página 32.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Acatech: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/Rw4eef>>. Acesso em: 26/10/2017. Citado na página 33.
- KARYPIS, G. Cluto-a clustering toolkit. 2002. Citado na página 71.
- KOENIGSBERGER, F. **Design principles of metal-cutting machine tools**. [S.l.]: Elsevier, 2013. Citado na página 96.
- LAROSE, D. T.; LAROSE, C. D. **Discovering knowledge in data: an introduction to data mining**. [S.l.]: John Wile and Sons, 2014. Citado na página 69.
- LEE, H.; SOHN, I. **Fundamentals of Big Data Network Analysis for Research and Industry**. 1. ed. [S.l.]: Wiley, 2016. Citado na página 61.
- LORENZATO, R. O que é indústria 4.0 e quais os seus impactos no futuro? futurecom/canal-tech 2016. 1 vídeo (08 min 58 s). 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=f37piMKrIJ8>>. Acesso em: 27/10/2017. Citado na página 34.
- LUCAS, J. R. E. **Lectures on Economic Growth**. [S.l.]: Harvard University Press, 2002. Citado na página 32.
- LUNA, S. **Metodologia da Pesquisa Educacional: O falso conflito entre tendências metodológicas**. in: FAZENDA, I.C.A. (org.). São Paulo: Cortez, 2002. Citado na página 35.
- MACHADO, Á. R.; SILVA, M. d. Usinagem dos metais. **Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, MG, 8ª ed.**, 2004. Citado nas páginas 94 e 95.

- MARQUESONE, R. **Big Data: Técnicas e tecnologias para extração de valor dos dados**. [S.l.]: Casa do Código, 2016. Citado na página 67.
- MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E.; DAVENPORT, T. H.; PATIL, D.; BARTON, D. Big data: the management revolution. **Harvard business review**, v. 90, n. 10, p. 60–68, 2012. Citado na página 68.
- MTCONNECT. **Padrão MTConnect**. 2020. [Online; acesso Março 2020]. Disponível em: <<https://www.mtconnect.org/getting-started>>. Citado na página 43.
- MTCONNECT, Executive Summary. 2019. Disponível em: <<https://goo.gl/4xjvb3>>. Acesso em: 20/10/2019. Citado na página 42.
- OLIVEIRA, L. E. S. de. Concepção de um framework para monitoramento e teleoperação de máquinas-ferramenta cnc via internet aderente à indústria 4.0. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/24347>>. Acesso em: 10/04/2018. Citado na página 38.
- RIFKIN, J. A **Terceira Revolução Industrial**. [S.l.]: Palgrave Macmillan, 2012. Citado na página 33.
- ROMI. **Máquina CNC ROMI GL240M com comando Fanuc 0i-TD**. 2020. [Online; acesso Março 2020]. Disponível em: <https://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/ds_romi_gl_240_280_po_ap_042016_baixa.pdf>. Citado na página 35.
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro; Tradução: Daniel Moreira Miranda, 2016. Citado nas páginas 32 e 33.
- SILVA, A. M. da; JÚNIOR, C. J. P.; SANTOS, R. F.; MARTINS, R. T.; OLIVEIRA, W. H. de. Criatividade e inovação: Internet das coisas (iot–internet of things). **Revista Expressão**, n. 09, p. 20–Páginas, 2016. Citado na página 40.
- SUNDMAEKER, H.; GUILLEMIN, P.; FRIESS, P.; WOELFFLÉ, S. Vision and challenges for realising the internet of things. **Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commision**, 2010. Citado na página 40.
- TELEA, A. C. **Data visualization: principles and practice**. [S.l.]: AK Peters/CRC Press, 2015. Citado na página 74.
- TOSCANI, L. V.; VELOSO, P. A. Complexidade de algoritmos. **Sagra-Luzzatto. Porto Alegre**, 2001. Citado na página 72.
- USP. **Mestrado Profissional MECAI**. 2017. Disponível em: <<http://conteudo.icmc.usp.br/Portal/conteudo/1250/13/mestrado-profissional-mecai>>. Acesso em: 17/10/2017. Citado na página 30.
- YOUSSEF, H.; EL-HOFY, H. **Machining Technology: Machine Tools and Operations**. CRC Press, 2008. ISBN 9781420043402. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=IleBqfaGK1oC>>. Citado na página 51.

ENSAIOS E ANÁLISES DO AÇO SAE 1045

Os ensaios e análises foram feitos no laboratório COMPTEST Engenharia que está localizado na cidade de São Carlos-SP. Os responsáveis pelos procedimentos foram: Luís Henrique Camargo Bonazzi e Rafael Sayama.

O objetivo do trabalho foi apresentar a caracterização microestrutural e propriedade mecânica dos materiais SAE 1045, através das técnicas de espectroscopia química, microscopia ótica (MO) e ensaio mecânico de dureza Brinell (HB). A partir das análises foi possível comparar os materiais avaliando a microestrutura e propriedade mecânica.

A.1 Identificação das amostras

Duas amostras circulares de material SAE 1045 foram enviados para a empresa COMPTEST e devidamente identificados, conforme Figura 67.

Figura 67 – Amostra de aço SAE 1045.

Fonte: COMPTEST.

A.2 Metodologia

A.2.1 Retirada e preparação das amostras

A caracterização e as análises foram realizadas na seção transversal das amostras envidadas. O principal objetivo foi analisar a microestrutura desse material, a fim de verificar se ambas possuem fases e/ou constituintes, dureza e composição química condizente com um aço SAE 1045.

Após a retirada das amostras, as mesmas foram embutidas em baquelite e preparadas em politriz rotativa de acordo com a norma ASTM E3-11 com os seguintes passos:

- Lixamento das amostras com lixas de granulometrias 320, 400, 600, 800 e 1200;
- Mesh, seguido de polimento em feltro com alumina de granulometria de 1μ .

Essa preparação foi utilizada para posterior análise via microscopia ótica (MO).

A.2.2 Espectroscopia química

A técnica de espectroscopia química permite analisar a composição química dos materiais, não sendo necessária a preparação específica da amostra.

Todos os elementos da amostra foram analisados em um espectrômetro de centelha por meio da técnica de ICP-OES (Ark/Spark optical emission spectrometry).

Por meio desta técnica é possível determinar a composição química, em peso, de todos os elementos presentes nas amostras, a fim de se determinar e verificar se o material declarado é o SAE 1045.

A.2.3 Microscopia ótica (MO)

A caracterização via MO é uma técnica que permite analisar a microestrutura presente nos materiais.

Após a preparação, conforme ASTM E11, para revelar o contraste na microestrutura, a amostra retirada do CT019-19 foi atacada quimicamente por imersão com o reagente Nital 2% (2 ml HNO₃ + 98 ml álcool etílico). O reagente Nital foi utilizado para atacar o aço SAE 1045, pois o mesmo é indicado para revelar a microestrutura de aços carbono em geral. Nesse ataque, realizado na temperatura ambiente, a perlita fica atacada enquanto a ferrita não é atacada.

Por fim, as imagens de MO foram realizadas por meio do sistema digital de aquisição de microfotografias acoplado ao próprio microscópio ótico. Durante o ensaio, o equipamento foi operado com luz transmitida e luz refletida.

A.2.4 Ensaio de dureza Brinell (HB)

O ensaio mecânico de dureza Brinell, consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço temperado ou de metal duro (carbeto de tungstênio) de diâmetro D , sobre uma superfície plana, polida e limpa de um metal por meio de uma carga F , durante um tempo t , produzindo uma calota esférica de diâmetro d . A dureza Brinell (HB) é a relação entre a carga aplicada e a área da calota esférica impressa no material ensaiado.

Sendo assim, para realização do ensaio, as medidas de dureza Brinell foram feitas utilizando-se uma esfera de 2,5 mm de diâmetro e aplicando-se uma carga de 187,5 kgf, seguindo os critérios da norma ASTM E10-17. Este ensaio foi realizado com o objetivo de se verificar a homogeneidade da microestrutura do material.

A.3 Resultados

A.3.1 Espectroscopia química

Na Tabela 1 é possível observar o resultado da análise da composição química (em %p.) do aço SAE 1045 como recebido.

Tabela 1 – Composição química da amostra do aço (%p.).

	C	Mn	P	S	Fe
SAE/AISI 1045 ASTM A29	0,43-0,50	0,60-0,90	Máx. 0,040	Máx. 0,050	Bal.
Analisado	0,46	0,68	0,0215	0,00239	Bal.

Fonte: COMPTEST

Por meio da análise química realizada na amostra do aço foi possível constatar que o material é um aço carbono comum com aproximadamente 0,46% de carbono denominado de SAE / AISI / ABNT 1045.

Este aço possui boa usinabilidade, boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura, média soldabilidade e alta forjabilidade, sendo aplicado em eixos e peças para indústria agrícola, automobilística, de máquinas e equipamentos, etc. Além disso, é utilizado em geral com durezas de 180 a 300 HB, dependendo do tratamento térmico aplicado. Se utilizarmos à norma ASTM A29 / A29 M, pode-se dizer que todos os elementos estão dentro da faixa de composição química esperada para esse material.

A.3.2 Microscopia ótica (MO)

Na Figura 68 (a), (b) e (c) é apresentada as microscopias do aço SAE 1045, exibindo a microestrutura desse material na condição como recebido.

Figura 68 – Microestrutura via MO do aço SAE 1045 com aumentos de 100x em (a), 200x em (b) e 500x em (c). Ataque: Nital 2%.

Fonte: COMPTEST.

A composição química, o processo de solidificação e os tratamentos térmicos posteriores influenciam decisivamente na microestrutura do aço. O ponto de partida para entender as transformações de fases compreende o diagrama de fases Fe-C (Ferro-Carbono) e as curvas TTT (tempo, temperatura, transformação). Existem dois tipos de diagramas Fe-C, o diagrama Fe-C estável, que mostra o equilíbrio entre o Fe e a grafita e o diagrama Fe-Fe₃C, metaestável, que apresenta o equilíbrio entre o ferro e a cementita (Fe₃C).

As possíveis transformações microestruturais para aços médio carbono encontram-se na região hipoeutetoide (aços que possuem teor de carbono entre 0,02 e 0,76% de carbono no diagrama de equilíbrio Fe-C).

O resfriamento dentro do equilíbrio do material é representado pelo resfriamento da fase austenita (ϵ), para as fases austenita e ferrita nos contornos de grãos e perlita, juntamente com fase ferrita nos contornos de grãos. Na Figura 69 é possível observar o diagrama de equilíbrio do Fe-C.

Figura 69 – Diagrama de equilíbrio Fe-C.

Fonte: COMPTEST.

Na Figura 70 é apresentada a transformação microestrutural dos aços hipoeutetóide. Temos a região do diagrama de equilíbrio Fe-C para aços hipoeutetóides em (a) e transformação microestrutural desses aços em (b): formação de ferrita proeutetóide (α), seguida pela decomposição da austenita em ferrita e cementita (Fe_3C), na forma de lamelas intercaladas, chamada de ferrita + perlita.

Figura 70 – Região do diagrama de equilíbrio Fe-C.

Fonte: COMPTEST.

Quando temos um resfriamento fora do equilíbrio, ocorrem algumas fases ou transformações em temperaturas diferentes daquelas previstas no diagrama de equilíbrio Fe-C. Assim, as curvas TTT possibilitam o controle das transformações e as mudanças microestruturais que os aços podem sofrer durante o resfriamento da fase austenita, dependendo sempre do tempo, da temperatura e da velocidade de resfriamento o qual o mesmo foi submetido. Para a sua construção, utiliza-se um resfriamento à temperatura constante (isotérmica).

A partir das análises da Figura 68 e Figura 70 pode-se dizer que o aço em estudo é o aço SAE 1045 na condição normalizado, pois na condição como recebido o material exibe uma microestrutura constituída de uma fase denominada ferrita proeutetóide () (região branca) e de um constituinte denominado perlita (região escura), que é composta por uma mistura eutetóide de duas fases, ferrita (α) e cementita (Fe_3C). A normalização proporciona dureza e resistência aos componentes deste aço SAE 1045. Além disso, a normalização ajuda a reduzir as tensões internas causadas por processos de conformação, melhora a homogeneidade microestrutural e a resposta ao tratamento térmico, melhora a usinabilidade, melhora a ductilidade e aumenta a estabilidade dimensional por transmitir a "memória térmica" para processos posteriores.

A.3.3 Ensaio de dureza Brinell (HB)

Na Tabela 2 é possível observar os resultados do ensaio de dureza Brinell (HB) realizado na amostra do aço SAE 1045.

Tabela 2 – Valores de dureza Brinell (HB).

Medições	Valores (HB)	Aço SAE 1045
M1		205
M2		215
M3		224
Média		215
Desvio padrão		9,5

Fonte: COMPTEST.

De acordo com a Tabela 1 pode-se observar que os valores de dureza do aço SAE 1045, exibiu valores de dureza dentro do esperado para essa classe de materiais. Para o aço SAE 1045 quando na condição normalizado a dureza, em geral, varia de 180 a 300 HB. Analisando os resultados do ensaio pode-se observar que os valores de dureza das regiões analisadas, exibiram valores muito próximos entre si, o que indica uma homogeneidade microestrutural do material, conforme pode ser observado pela Figura 68.

A.4 Conclusões das análises do aço SAE1045

Por meio da análise química realizada foi possível constatar que a amostra retirada do aço é um aço carbono comum com aproximadamente 0,46% de carbono denominado de SAE/AISI 1045.

De acordo com as análises via MO pode-se afirmar que o aço em estudo é o aço SAE 1045 na condição normalizado, pois na condição como recebido o material exibe uma microestrutura constituída de uma fase denominada ferrita proeutetóide (α) (região branca) e de um constituinte denominado perlita (região escura), que é composta por uma mistura eutetóide de duas fases, ferrita (α) e cementita (Fe_3C).

Por meio do ensaio de dureza Brinell é possível observar que os valores de dureza do aço SAE 1045 exibiu valores de dureza dentro do esperado para esses materiais. Além disso, verificou-se homogeneidade microestrutural do material.

Por fim, respaldados por todos os resultados é possível concluir que o aço identificado para este trabalho como sendo um aço SAE/AISI 1045 realmente é um aço carbono comum com 0,46% de carbono na condição normalizada.

FACEAMENTO G75: USINAGEM EM VAZIO

Este arquivo foi gerado pelo programa **PuTTY** após a conexão entre o adaptador *MTConnect* e o comando Fanuc 0i-TD. O arquivo gerado contém os dados de usinagem da peça em "vazio" e este tipo de usinagem é feito sem o contato da ferramenta com a peça e portanto não há remoção de cavaco. Sendo assim os valores das variáveis **Xload** e **Zload** que representam a carga dos eixos (X e Z), poderão ser analisadas e comparadas com um arquivo de usinagem com remoção de cavaco.

B.1 Arquivo de dados 1: Usinagem em Vazio

```

1: 2019-10-10T22:54:11.205Z|message||ABRIR PORTA DO OPERADOR
2: 2019-10-10T22:54:11.205Z|avail|AVAILABLE|part_count|0|SspeedOvr|100|Fovr
   |100|tool_id|100|program|777.777|program_comment|% O0777(USP-MTCONNECT)
   |line|0|block|O0777(USP-MTCONNECT)|path_feedrate|0|path_position
   |196.5400000000 0.0000000000 318.0430000000|active_axes|X Z C|model
   AUTOMATIC
3: 2019-10-10T22:54:11.205Z|servo|NORMAL|
4: 2019-10-10T22:54:11.205Z|comms|NORMAL|
5: 2019-10-10T22:54:11.205Z|logic|NORMAL|
6: 2019-10-10T22:54:11.205Z|motion|NORMAL|
7: 2019-10-10T22:54:11.205Z|system|NORMAL|
8: 2019-10-10T22:54:11.205Z|execution|STOPPED|f_command|0|estop|ARMED|Xact|0|
   Xload|0
9: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Xtravel|NORMAL|
10: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Xoverheat|NORMAL|
11: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Xservo|NORMAL|
12: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Zact|0|Zload|0
13: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Ztravel|NORMAL|
14: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Zoverheat|NORMAL|
15: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Zservo|NORMAL|
16: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Cact|0|Cload|0

```

```

17: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Ctravel|NORMAL|
18: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Coverheat|NORMAL|
19: 2019-10-10T22:54:11.205Z|Cservo|NORMAL|
20: 2019-10-10T22:54:11.205Z|S1speed|0|S1load|0
21: 2019-10-10T22:54:11.205Z|S1servo|NORMAL|
22: 2019-10-10T22:54:11.205Z|S2speed|0|S2load|0
23: 2019-10-10T22:54:11.205Z|S2servo|NORMAL|
24: 2019-10-10T22:54:16.587Z|message||PORTA DO OPERADOR ABERTA
25: 2019-10-10T22:54:20.284Z|Xload|13|Zload|8
26: 2019-10-10T22:54:20.690Z|Xload|39
27: 2019-10-10T22:54:21.579Z|Zload|7
28: 2019-10-10T22:54:22.016Z|Xload|40|Zload|8
29: 2019-10-10T22:54:22.453Z|Xload|39
30: 2019-10-10T22:54:22.890Z|Xload|40|Zload|7
31: 2019-10-10T22:54:23.326Z|Zload|8
32: 2019-10-10T22:54:23.763Z|Xload|39|Zload|7
33: 2019-10-10T22:54:24.184Z|Zload|8
34: 2019-10-10T22:54:25.089Z|tool_id|101|line|40|block|N40T0101(DESBASTE)|
    execution|ACTIVE|Xload|35|S2load|1
35: 2019-10-10T22:54:25.526Z|S2load|0
36: 2019-10-10T22:54:25.963Z|Xload|36|S1load|21|S2load|1
37: 2019-10-10T22:54:26.400Z|line|70|block|N70G0X55Z7.2M8|path_feedrate|10256|
    path_position|177.1120000000 0.0000000000 275.3760000000|f_command|25|
    Xact|-19.428|Xload|14|Zact|-42.667|Zload|17|S1speed|1698|S1load|102|
    S2load|0
38: 2019-10-10T22:54:26.868Z|path_position|140.6850000000 0.0000000000
    195.3760000000|Xact|-55.855|Zact|-122.667|Zload|15|S1speed|1734|S1load|5
39: 2019-10-10T22:54:27.336Z|path_position|106.6860000000 0.0000000000
    120.7100000000|Xact|-89.854|Xload|15|Zact|-197.333|Zload|14|S1load|4
40: 2019-10-10T22:54:27.804Z|path_position|70.2580000000 0.0000000000
    40.7100000000|Xact|-126.282|Zact|-277.333|Zload|13|S1speed|1735
41: 2019-10-10T22:54:28.272Z|line|80|block|N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25|
    path_feedrate|186|path_position|53.8430000000 0.0000000000 7.2000000000|
    Xact|-142.697|Xload|14|Zact|-310.843|Zload|14|S1speed|1809|S1load|22|
    S2load|1
42: 2019-10-10T22:54:28.740Z|path_feedrate|495|path_position|46.3440000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-150.196|Xload|15|Zload|10|S1speed|2067|
    S1load|36|S2load|0
43: 2019-10-10T22:54:29.176Z|path_feedrate|592|path_position|38.0850000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-158.455|Xload|16|Zload|9|S1speed|2503|
    S1load|40
44: 2019-10-10T22:54:29.613Z|path_feedrate|624|path_position|29.4340000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-167.106|Xload|15|S1speed|2495|S1load|8|
    S2load|1
45: 2019-10-10T22:54:30.081Z|path_position|19.4540000000 0.0000000000
    7.2000000000|Xact|-177.086|Xload|14|S1speed|2493|S2load|0

```

```

46: 2019-10-10T22:54:30.549Z|path_position|10.1400000000 0.0000000000
    7.2000000000|Xact|-186.4|Xload|13|S1load|7
47: 2019-10-10T22:54:30.986Z|path_feedrate|623|path_position|0.8250000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-195.715|Xload|14|S1speed|2496|S2load|1
48: 2019-10-10T22:54:31.423Z|path_feedrate|10000|path_position|43.3330000000
    0.0000000000 8.2000000000|Xact|-153.207|Xload|80|Zact|-309.843|Zload|8|
    S1speed|2216|S1load|73|S2load|0
49: 2019-10-10T22:54:31.860Z|path_feedrate|434|path_position|53.4920000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-143.048|Xload|16|Zact|-311.643|Zload|13|
    S1speed|1805|S1load|23
50: 2019-10-10T22:54:32.328Z|path_feedrate|494|path_position|46.4790000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-150.061|Xload|14|Zload|9|S1speed|2109|
    S1load|37|S2load|1
51: 2019-10-10T22:54:32.796Z|path_feedrate|606|path_position|37.5950000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-158.945|Xload|15|Zload|7|S1speed|2504|
    S1load|33
52: 2019-10-10T22:54:33.232Z|path_feedrate|624|path_position|28.9350000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-167.605|S1speed|2493|S1load|8
53: 2019-10-10T22:54:33.669Z|path_position|20.2860000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xact|-176.254|Xload|13|Zload|8|S1speed|2494|S1load|7|S2load
    |0
54: 2019-10-10T22:54:34.090Z|path_position|10.9710000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xact|-185.569|Xload|18|S1speed|2493|S1load|6
55: 2019-10-10T22:54:34.527Z|path_position|1.6560000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xact|-194.884|Xload|13|Zload|7|S1speed|2494|S1load|7|S2load
    |1
56: 2019-10-10T22:54:34.964Z|path_feedrate|7143|path_position|19.3330000000
    0.0000000000 7.4000000000|Xact|-177.207|Xload|80|Zact|-310.643|Zload|12|
    S1speed|2357|S1load|67
57: 2019-10-10T22:54:35.401Z|path_feedrate|62|path_position|54.5380000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-142.002|Xload|14|Zact|-312.443|Zload|10|
    S1speed|1785|S1load|25|S2load|0
58: 2019-10-10T22:54:35.869Z|path_feedrate|484|path_position|47.1470000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-149.393|Xload|15|Zload|9|S1speed|2033|
    S1load|34
59: 2019-10-10T22:54:36.306Z|path_feedrate|573|path_position|39.6810000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-156.859|Xload|12|Zload|7|S1speed|2495|
    S1load|44
60: 2019-10-10T22:54:36.774Z|path_feedrate|624|path_position|29.7670000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-166.773|Xload|15|Zload|8|S1speed|2496|
    S1load|7
61: 2019-10-10T22:54:37.210Z|path_position|20.4520000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-176.088|Xload|14|S1speed|2497|S1load|6|S2load|1
62: 2019-10-10T22:54:37.647Z|path_position|11.1380000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-185.402|Xload|16|S1speed|2496|S1load|7|S2load|0
63: 2019-10-10T22:54:38.084Z|path_position|2.4880000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-194.052|S1speed|2494|S1load|8

```

```

64: 2019-10-10T22:54:38.536Z|path_feedrate|5714|path_position|16.6670000000
    0.0000000000 6.6000000000|Xact|-179.873|Xload|73|Zact|-311.443|Zload|12|
    S1speed|2372|S1load|65|S2load|1
65: 2019-10-10T22:54:38.973Z|path_feedrate|0|path_position|54.6530000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-141.887|Xload|15|Zact|-313.243|Zload|10|
    S1speed|1766|S1load|26|S2load|0
66: 2019-10-10T22:54:39.441Z|path_feedrate|483|path_position|47.8060000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-148.734|Xload|17|Zload|8|S1speed|2027|
    S1load|34|S2load|1
67: 2019-10-10T22:54:39.878Z|path_feedrate|571|path_position|39.8380000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-156.702|Xload|13|S1speed|2445|S1load|61|
    S2load|0
68: 2019-10-10T22:54:40.315Z|path_feedrate|624|path_position|30.6000000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-165.94|Xload|15|Zload|7|S1speed|2494|
    S1load|7
69: 2019-10-10T22:54:40.752Z|path_position|21.9500000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xact|-174.59|Xload|16|S1speed|2497|S1load|6|S2load|1
70: 2019-10-10T22:54:41.220Z|path_position|11.9700000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xact|-184.57|Xload|17|S1speed|2494
71: 2019-10-10T22:54:41.656Z|path_position|2.6550000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xact|-193.885|Xload|16|S1speed|2493|S1load|7
72: 2019-10-10T22:54:42.124Z|path_feedrate|4286|path_position|14.0000000000
    0.0000000000 5.8000000000|Xact|-182.54|Xload|64|Zact|-312.243|Zload|10|
    S1speed|2329|S1load|69|S2load|0
73: 2019-10-10T22:54:42.592Z|path_feedrate|0|path_position|54.3080000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-142.232|Xload|17|Zact|-314.043|Zload|11|
    S1speed|1775|S1load|24
74: 2019-10-10T22:54:43.060Z|path_feedrate|481|path_position|47.4120000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-149.128|Xload|15|Zload|8|S1speed|2042|
    S1load|35
75: 2019-10-10T22:54:43.497Z|path_feedrate|569|path_position|39.3680000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-157.172|S1speed|2477|S1load|49
76: 2019-10-10T22:54:43.934Z|path_feedrate|624|path_position|30.1010000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-166.439|Xload|17|S1speed|2498|S1load|6|
    S2load|1
77: 2019-10-10T22:54:44.371Z|path_position|21.4510000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-175.089|S1speed|2495
78: 2019-10-10T22:54:44.808Z|path_position|12.1370000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-184.403|Xload|15|S1speed|2493|S1load|7
79: 2019-10-10T22:54:45.244Z|path_position|3.4870000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-193.053|S1speed|2494
80: 2019-10-10T22:54:45.712Z|path_feedrate|2857|path_position|22.0000000000
    0.0000000000 5.0000000000|Xact|-174.54|Xload|59|Zact|-313.043|Zload|11|
    S1speed|2402|S1load|62|S2load|0
81: 2019-10-10T22:54:46.149Z|path_feedrate|0|path_position|54.8850000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-141.655|Xload|31|Zact|-314.843|Zload|6|
    S1speed|1757|S1load|26

```



```

82: 2019-10-10T22:54:46.617Z|path_feedrate|480|path_position|47.5440000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-148.996|Xload|15|Zload|9|S1speed|2034|
    S1load|36|S2load|1
83: 2019-10-10T22:54:47.085Z|path_feedrate|567|path_position|39.5250000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-157.015|Xload|14|Zload|8|S1speed|2466|
    S1load|60|S2load|0
84: 2019-10-10T22:54:47.506Z|path_feedrate|624|path_position|30.9320000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-165.608|Xload|16|S1speed|2496|S1load|6|
    S2load|1
85: 2019-10-10T22:54:47.928Z|path_position|22.2820000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-174.258|Xload|13|S1speed|2494|S1load|7|S2load|0
86: 2019-10-10T22:54:48.318Z|path_position|14.2990000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-182.241|Xload|17|Zload|7|S2load|1
87: 2019-10-10T22:54:48.708Z|path_position|5.6490000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-190.891|Xload|14|Zload|8|S1speed|2496|S1load|6|S2load
    |0
88: 2019-10-10T22:54:49.098Z|path_position|-2.0000000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-198.54|Xload|15|Zload|7|S1speed|2495|S1load|7
89: 2019-10-10T22:54:49.503Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 4.2000000000|Xact|-141.54|Xload|22|Zact|-313.843|Zload|9|
    S1speed|2022|S1load|83
90: 2019-10-10T22:54:49.909Z|path_feedrate|441|path_position|52.1880000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-144.352|Xload|17|Zact|-315.643|Zload|10|
    S1speed|1832|S1load|23
91: 2019-10-10T22:54:50.314Z|path_feedrate|497|path_position|46.6130000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-149.927|Xload|16|Zload|7|S1speed|2103|
    S1load|36|S2load|1
92: 2019-10-10T22:54:50.720Z|path_feedrate|579|path_position|39.0510000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-157.489|Xload|15|Zload|6|S1speed|2492|
    S1load|55
93: 2019-10-10T22:54:51.110Z|path_feedrate|624|path_position|31.0980000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-165.442|S1speed|2497|S1load|7|S2load|0
94: 2019-10-10T22:54:51.516Z|path_feedrate|623|path_position|22.4480000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-174.092|S1speed|2498|S1load|6|S2load|1
95: 2019-10-10T22:54:51.906Z|path_feedrate|624|path_position|14.4640000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-182.076|Xload|17|S1speed|2494|S1load|7|
    S2load|0
96: 2019-10-10T22:54:52.296Z|path_position|5.8150000000 0.0000000000
    2.4000000000|Xact|-190.725|Xload|14|S1speed|2495|S2load|1
97: 2019-10-10T22:54:52.686Z|path_feedrate|623|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-198.54|Xload|18|S1speed|2496|S1load|6|
    S2load|0
98: 2019-10-10T22:54:53.091Z|path_feedrate|10000|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 3.4000000000|Xact|-141.54|Xload|22|Zact|-314.643|Zload|5|
    S1speed|2043|S1load|81
99: 2019-10-10T22:54:53.481Z|path_feedrate|440|path_position|52.7850000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-143.755|Xload|16|Zact|-316.443|Zload|12|

```

```

S1speed|1813|S1load|23|S2load|1
100: 2019-10-10T22:54:53.871Z|path_feedrate|495|path_position|46.7470000000
0.0000000000 1.6000000000|Xact|-149.793|Zload|8|S1speed|2050|S1load|35|
S2load|0
101: 2019-10-10T22:54:54.261Z|path_feedrate|577|path_position|39.2090000000
0.0000000000 1.6000000000|Xact|-157.331|Xload|15|Zload|7|S1speed|2443|
S1load|58
102: 2019-10-10T22:54:54.667Z|path_feedrate|625|path_position|31.2640000000
0.0000000000 1.6000000000|Xact|-165.276|Xload|17|S1speed|2498|S1load|7|
S2load|1
103: 2019-10-10T22:54:55.057Z|path_feedrate|624|path_position|22.6140000000
0.0000000000 1.6000000000|Xact|-173.926|Xload|15|S1speed|2497|S1load|6|
S2load|0
104: 2019-10-10T22:54:55.462Z|path_position|14.6300000000 0.0000000000
1.6000000000|Xact|-181.91|Xload|16|S1speed|2493|S1load|7
105: 2019-10-10T22:54:55.852Z|path_position|6.6450000000 0.0000000000
1.6000000000|Xact|-189.895|Xload|14|S1speed|2497|S1load|6
106: 2019-10-10T22:54:56.242Z|path_position|-1.3390000000 0.0000000000
1.6000000000|Xact|-197.879|Xload|15|S1speed|2494|S1load|7|S2load|1
107: 2019-10-10T22:54:56.632Z|path_feedrate|10000|path_position|55.0000000000
0.0000000000 2.6000000000|Xact|-141.54|Xload|56|Zact|-315.443|Zload|11|
S1speed|2131|S1load|77|S2load|0
108: 2019-10-10T22:54:57.022Z|path_feedrate|434|path_position|53.8430000000
0.0000000000 0.8000000000|Xact|-142.697|Xload|17|Zact|-317.243|Zload|14|
S1speed|1794|S1load|24
109: 2019-10-10T22:54:57.412Z|path_feedrate|485|path_position|47.4110000000
0.0000000000 0.8000000000|Xact|-149.129|Xload|15|Zload|8|S1speed|2020|
S1load|34|S2load|1
110: 2019-10-10T22:54:57.802Z|path_feedrate|561|path_position|40.6100000000
0.0000000000 0.8000000000|Xact|-155.93|Xload|12|Zload|7|S1speed|2362|
S1load|56
111: 2019-10-10T22:54:58.192Z|path_feedrate|624|path_position|32.7640000000
0.0000000000 0.8000000000|Xact|-163.776|Xload|18|Zload|8|S1speed|2496|
S1load|8|S2load|0
112: 2019-10-10T22:54:58.614Z|path_position|24.1130000000 0.0000000000
0.8000000000|Xact|-172.427|Xload|13|S1speed|2494|S1load|7
113: 2019-10-10T22:54:59.019Z|path_position|15.4630000000 0.0000000000
0.8000000000|Xact|-181.077|Xload|16|S1speed|2495
114: 2019-10-10T22:54:59.409Z|path_feedrate|623|path_position|7.4780000000
0.0000000000 0.8000000000|Xact|-189.062|Xload|15|Zload|7|S1speed|2496|
S1load|6
115: 2019-10-10T22:54:59.799Z|path_feedrate|624|path_position|-0.5060000000
0.0000000000 0.8000000000|Xact|-197.046|Xload|13|Zload|8|S1speed|2493|
S1load|7|S2load|1
116: 2019-10-10T22:55:00.189Z|path_feedrate|10000|path_position|54.0000000000
0.0000000000 1.8000000000|Xact|-142.54|Xload|55|Zact|-316.243|Zload|9|
S1speed|2148|S1load|76|S2load|0

```

```

117: 2019-10-10T22:55:00.626Z|path_feedrate|433|path_position|53.4940000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-143.046|Xload|17|Zact|-318.043|Zload|13|
    S1speed|1802|S1load|23|S2load|1
118: 2019-10-10T22:55:01.047Z|path_feedrate|492|path_position|46.4800000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-150.06|Xload|15|Zload|10|S1speed|2059|
    S1load|36|S2load|0
119: 2019-10-10T22:55:01.453Z|path_feedrate|573|path_position|39.5250000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-157.015|Xload|16|Zload|9|S1speed|2424|
    S1load|61
120: 2019-10-10T22:55:01.843Z|path_feedrate|625|path_position|31.5990000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-164.941|Xload|15|Zload|8|S1speed|2498|
    S1load|7
121: 2019-10-10T22:55:02.233Z|path_feedrate|624|path_position|23.6130000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-172.927|Xload|14|S1speed|2497|S1load|6
122: 2019-10-10T22:55:02.654Z|path_position|14.9640000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-181.576|Xload|16|Zload|9|S2load|1
123: 2019-10-10T22:55:03.060Z|path_position|6.3140000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-190.226|Xload|14|Zload|8|S1speed|2493|S1load|7|S2load
    |0
124: 2019-10-10T22:55:03.450Z|path_position|-1.6700000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-198.21|S1load|8
125: 2019-10-10T22:55:03.855Z|path_feedrate|4821|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 1.0000000000|Xact|-141.54|Xload|23|Zact|-317.043|Zload|7|
    S1speed|2096|S1load|81
126: 2019-10-10T22:55:04.261Z|line|85|block|N85G28U0W0|path_feedrate|10102|
    path_position|84.3330000000 0.0000000000 21.8670000000|Xact|-112.207|
    Xload|98|Zact|-296.176|Zload|77|S1speed|1508|S1load|71
127: 2019-10-10T22:55:04.666Z|path_feedrate|13243|path_position|196.5400000000
    0.0000000000 85.8670000000|Xact|0|Xload|27|Zact|-232.176|Zload|20|
    S1speed|486|S1load|29
128: 2019-10-10T22:55:05.056Z|path_feedrate|10000|path_position|196.5400000000
    0.0000000000 155.2000000000|Xload|43|Zact|-162.843|Zload|16|S1load|2
129: 2019-10-10T22:55:05.478Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
    224.5330000000|Xload|39|Zact|-93.51|S1speed|485
130: 2019-10-10T22:55:05.899Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
    293.8670000000|Zact|-24.176|Zload|14
131: 2019-10-10T22:55:06.289Z|path_feedrate|0|path_position|196.5400000000
    0.0000000000 318.0430000000|Zact|0|Zload|11|S1speed|460|S1load|27
132: 2019-10-10T22:55:06.694Z|message||ABRIR PORTA DO OPERADOR
133: 2019-10-10T22:55:06.694Z|tool_id|100|line|0|block|O0777(USP-MITCONNECT)|
    path_feedrate|92|execution|STOPPED|f_command|0|Xload|0|Zload|0|S1speed
    |0|S1load|0
134: 2019-10-10T22:55:07.131Z|path_feedrate|0
135: 2019-10-10T22:55:20.937Z|path_feedrate|1
136: 2019-10-10T22:55:21.343Z|path_feedrate|0

```

B.2 Arquivo de dados 2: Usinagem em Vazio

```

1: 2019-10-10T23:07:31.607Z|message||ABRIR PORTA DO OPERADOR
2: 2019-10-10T23:07:31.607Z|avail|AVAILABLE|part_count|0|SspeedOvr|100|Fovr
   |100|tool_id|100|program|777.777|program_comment|% O0777(USP-MTCONNECT)
   |line|0|block|O0777(USP-MTCONNECT)|path_feedrate|0|path_position
   |196.5400000000 0.0000000000 318.0430000000|active_axes|X Z C|mode|
   AUTOMATIC
3: 2019-10-10T23:07:31.607Z|servo|NORMAL|
4: 2019-10-10T23:07:31.607Z|comms|NORMAL|
5: 2019-10-10T23:07:31.607Z|logic|NORMAL|
6: 2019-10-10T23:07:31.607Z|motion|NORMAL|
7: 2019-10-10T23:07:31.607Z|system|NORMAL|
8: 2019-10-10T23:07:31.607Z|execution|STOPPED|f_command|0|estop|ARMED|Xact|0|
   Xload|0
9: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Xtravel|NORMAL|
10: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Xoverheat|NORMAL|
11: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Xservo|NORMAL|
12: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Zact|0|Zload|0
13: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Ztravel|NORMAL|
14: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Zoverheat|NORMAL|
15: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Zservo|NORMAL|
16: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Cact|0|Cload|0
17: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Ctravel|NORMAL|
18: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Coverheat|NORMAL|
19: 2019-10-10T23:07:31.607Z|Cservo|NORMAL|
20: 2019-10-10T23:07:31.607Z|S1speed|0|S1load|0
21: 2019-10-10T23:07:31.607Z|S1servo|NORMAL|
22: 2019-10-10T23:07:31.607Z|S2speed|0|S2load|0
23: 2019-10-10T23:07:31.607Z|S2servo|NORMAL|
24: 2019-10-10T23:07:34.181Z|message||PORTA DO OPERADOR ABERTA
25: 2019-10-10T23:07:35.086Z|Xload|40|Zload|12
26: 2019-10-10T23:07:35.523Z|message||ABRIR PORTA DO OPERADOR
27: 2019-10-10T23:07:35.523Z|path_feedrate|2|Xload|0|Zload|0
28: 2019-10-10T23:07:35.991Z|path_feedrate|0
29: 2019-10-10T23:07:36.927Z|path_feedrate|1
30: 2019-10-10T23:07:37.395Z|path_feedrate|0
31: 2019-10-10T23:07:38.284Z|Xload|11|Zload|11
32: 2019-10-10T23:07:38.752Z|Xload|42|Zload|9
33: 2019-10-10T23:07:39.189Z|Xload|0|Zload|0
34: 2019-10-10T23:07:40.967Z|message||PORTA DO OPERADOR ABERTA
35: 2019-10-10T23:07:42.324Z|Xload|12|Zload|10
36: 2019-10-10T23:07:42.761Z|Xload|41
37: 2019-10-10T23:07:43.198Z|tool_id|101|Zload|9
38: 2019-10-10T23:07:43.635Z|line|40|block|N40T0101(DESBASTE)|execution|ACTIVE|
   Xload|39|S2load|1
39: 2019-10-10T23:07:44.071Z|Xload|38|Zload|8
40: 2019-10-10T23:07:44.508Z|line|60|Zload|7|S1speed|61|S1load|77|S2load|0

```

```

41: 2019-10-10T23:07:44.961Z|line|70|block|N70G0X55Z7.2M8|path_feedrate|10256|
    path_position|171.6480000000 0.0000000000 263.3760000000|f_command|25|
    Xact|-24.892|Xload|14|Zact|-54.667|Zload|15|S1speed|1733|S1load|75|
    S2load|1
42: 2019-10-10T23:07:45.397Z|path_position|137.6490000000 0.0000000000
    188.7100000000|Xact|-58.891|Zact|-129.333|Zload|14|S1load|5|S2load|0
43: 2019-10-10T23:07:45.834Z|path_position|106.0790000000 0.0000000000
    119.3760000000|Xact|-90.461|Zact|-198.667|Zload|13|S1speed|1732|S1load
    14|S2load|1
44: 2019-10-10T23:07:46.271Z|path_position|72.0800000000 0.0000000000
    44.7100000000|Xact|-124.46|Xload|12|Zact|-273.333|Zload|14|S1speed|1733
45: 2019-10-10T23:07:46.739Z|line|80|path_feedrate|309|path_position
    153.7270000000 0.0000000000 7.2000000000|Xact|-142.813|Xload|16|Zact
    |-310.843|Zload|13|S1speed|1777|S1load|20
46: 2019-10-10T23:07:47.176Z|block|N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25|path_feedrate
    1488|path_position|47.2790000000 0.0000000000 7.2000000000|Xact
    |-149.261|Xload|15|Zload|9|S1speed|2047|S1load|36
47: 2019-10-10T23:07:47.613Z|path_feedrate|582|path_position|39.2090000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-157.331|Xload|16|Zload|8|S1speed|2485|
    S1load|46
48: 2019-10-10T23:07:48.081Z|path_feedrate|624|path_position|29.2690000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-167.271|S1speed|2495|S1load|8
49: 2019-10-10T23:07:48.549Z|path_position|19.9540000000 0.0000000000
    7.2000000000|Xact|-176.586|Xload|15|S1speed|2497|S1load|6
50: 2019-10-10T23:07:48.985Z|path_feedrate|623|path_position|10.6390000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-185.901|S1speed|2496
51: 2019-10-10T23:07:49.422Z|path_feedrate|624|path_position|1.3240000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-195.216|Xload|14|S1speed|2493|S1load|8|
    S2load|0
52: 2019-10-10T23:07:49.890Z|path_feedrate|10000|path_position|35.3330000000
    0.0000000000 8.2000000000|Xact|-161.207|Xload|98|Zact|-309.843|Zload|11|
    S1speed|2263|S1load|74|S2load|1
53: 2019-10-10T23:07:50.327Z|path_feedrate|247|path_position|53.8430000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-142.697|Xload|14|Zact|-311.643|Zload|13|
    S1speed|1774|S1load|24
54: 2019-10-10T23:07:50.764Z|path_feedrate|487|path_position|46.8810000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-149.659|Zload|9|S1speed|2041|S1load|36
55: 2019-10-10T23:07:51.201Z|path_feedrate|579|path_position|39.3670000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-157.173|Xload|15|Zload|8|S1speed|2475|
    S1load|50|S2load|0
56: 2019-10-10T23:07:51.653Z|path_feedrate|624|path_position|30.1010000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-166.439|Xload|13|S1speed|2497|S1load|8
57: 2019-10-10T23:07:52.137Z|path_feedrate|623|path_position|20.1200000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-176.42|Xload|15|S1speed|2496|S1load|6|
    S2load|1
58: 2019-10-10T23:07:52.573Z|path_feedrate|624|path_position|10.8050000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-185.735|S1speed|2495|S1load|7|S2load|0

```

```

59: 2019-10-10T23:07:53.026Z|path_position|1.4900000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xactl|-195.05|S1speed|2496|S1load|6
60: 2019-10-10T23:07:53.447Z|path_feedrate|10000|path_position|22.0000000000
    0.0000000000 7.4000000000|Xactl|-174.54|Xload|84|Zactl|-310.643|Zload|12|
    S1speed|2343|S1load|68
61: 2019-10-10T23:07:53.899Z|path_feedrate|186|path_position|54.4220000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xactl|-142.118|Xload|16|Zactl|-312.443|Zload|10|
    S1speed|1771|S1load|25|S2load|1
62: 2019-10-10T23:07:54.336Z|path_feedrate|486|path_position|47.5420000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xactl|-148.998|Xload|17|Zload|7|S1speed|2037|
    S1load|35|S2load|0
63: 2019-10-10T23:07:54.773Z|path_feedrate|577|path_position|39.5240000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xactl|-157.016|Xload|14|S1speed|2427|S1load|60
64: 2019-10-10T23:07:55.210Z|path_feedrate|625|path_position|30.2670000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xactl|-166.273|Xload|15|Zload|6|S1speed|2494|
    S1load|8|S2load|1
65: 2019-10-10T23:07:55.647Z|path_feedrate|624|path_position|21.6170000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xactl|-174.923|S1speed|2493|S1load|7|S2load|0
66: 2019-10-10T23:07:56.099Z|path_position|12.3020000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xactl|-184.238|Xload|18|S1speed|2495
67: 2019-10-10T23:07:56.551Z|path_feedrate|623|path_position|2.9860000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xactl|-193.554|Xload|14|S1speed|2496|S1load|6
68: 2019-10-10T23:07:56.988Z|path_feedrate|0|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 6.6000000000|Xactl|-198.54|Xload|19|Zactl|-311.443|S1speed
    |2453|S1load|51|S2load|1
69: 2019-10-10T23:07:57.409Z|path_position|55.0000000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xactl|-141.54|Xload|42|Zactl|-313.243|Zload|2|S1speed|1736|
    S1load|31
70: 2019-10-10T23:07:57.846Z|path_feedrate|476|path_position|48.7120000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xactl|-147.828|Xload|15|Zload|8|S1speed|1966|
    S1load|32
71: 2019-10-10T23:07:58.283Z|path_feedrate|548|path_position|40.9140000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xactl|-155.626|Xload|14|Zload|7|S1speed|2341|
    S1load|55
72: 2019-10-10T23:07:58.720Z|path_feedrate|624|path_position|32.4300000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xactl|-164.11|Xload|15|S1speed|2498|S1load|7
73: 2019-10-10T23:07:59.157Z|path_position|23.7790000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xactl|-172.761|Xload|13|Zload|6|S1speed|2495|S2load|0
74: 2019-10-10T23:07:59.562Z|path_position|15.1290000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xactl|-181.411|Xload|16|Zload|7|S1speed|2494|S2load|1
75: 2019-10-10T23:07:59.983Z|path_feedrate|623|path_position|5.8140000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xactl|-190.726|Xload|15|S1speed|2493
76: 2019-10-10T23:08:00.420Z|path_feedrate|624|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xactl|-198.54|Xload|19|S1speed|2495
77: 2019-10-10T23:08:00.857Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 5.8000000000|Xactl|-141.54|Xload|17|Zactl|-312.243|Zload|4|
    S1speed|1804|S1load|86|S2load|0

```



```

78: 2019-10-10T23:08:01.294Z|path_feedrate|452|path_position|50.8500000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-145.69|Zact|-314.043|Zload|8|S1speed
    |1880|S1load|28
79: 2019-10-10T23:08:01.731Z|path_feedrate|523|path_position|43.9950000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-152.545|Xload|14|Zload|5|S1speed|2176|
    S1load|44|S2load|1
80: 2019-10-10T23:08:02.152Z|path_feedrate|621|path_position|35.9300000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-160.61|Xload|17|Zload|6|S1speed|2497|
    S1load|16|S2load|0
81: 2019-10-10T23:08:02.589Z|path_feedrate|624|path_position|26.6080000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-169.932|Xload|14|Zload|5|S1speed|2494|
    S1load|8|S2load|1
82: 2019-10-10T23:08:03.057Z|path_position|16.6270000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-179.913|Xload|13|Zload|6|S1speed|2496|S1load|6
83: 2019-10-10T23:08:03.525Z|path_position|7.3120000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-189.228|Xload|15|S1speed|2494|S1load|7|S2load|0
84: 2019-10-10T23:08:03.961Z|path_position|-2.0000000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-198.54|Xload|14
85: 2019-10-10T23:08:04.398Z|path_feedrate|10|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 5.0000000000|Xact|-141.54|Xload|6|Zact|-313.043|Zload|7|
    S1speed|1906|S1load|85|S2load|1
86: 2019-10-10T23:08:04.866Z|path_feedrate|451|path_position|51.4630000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-145.077|Xload|17|Zact|-314.843|Zload|10|
    S1speed|1893|S1load|28
87: 2019-10-10T23:08:05.334Z|path_feedrate|521|path_position|43.5680000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-152.972|Xload|15|Zload|6|S1speed|2200|
    S1load|44|S2load|0
88: 2019-10-10T23:08:05.771Z|path_feedrate|626|path_position|35.4300000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-161.11|Xload|14|S1speed|2499|S1load|14|
    S2load|1
89: 2019-10-10T23:08:06.208Z|path_feedrate|624|path_position|26.1090000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-170.431|Xload|12|S1speed|2498|S1load|7|
    S2load|0
90: 2019-10-10T23:08:06.645Z|path_position|16.7930000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-179.747|Xload|15|S1speed|2496|S1load|6
91: 2019-10-10T23:08:07.081Z|path_position|7.4790000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-189.061|Xload|14|S1speed|2497|S2load|1
92: 2019-10-10T23:08:07.534Z|path_position|-1.1710000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-197.711|Zload|7|S1speed|2495|S1load|7|S2load|0
93: 2019-10-10T23:08:07.971Z|path_feedrate|6250|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 4.2000000000|Xact|-141.54|Xload|17|Zact|-313.843|Zload|9|
    S1speed|2001|S1load|82|S2load|1
94: 2019-10-10T23:08:08.407Z|path_feedrate|443|path_position|52.0680000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-144.472|Xload|16|Zact|-315.643|Zload|10|
    S1speed|1853|S1load|25|S2load|0
95: 2019-10-10T23:08:08.875Z|path_feedrate|509|path_position|44.8380000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-151.702|Xload|15|Zload|7|S1speed|2193|

```

```

S1load|43
96: 2019-10-10T23:08:09.343Z|path_feedrate|626|path_position|35.5970000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-160.943|Zload|6|S1speed|2501|S1load|17|
    S2load|1
97: 2019-10-10T23:08:09.780Z|path_feedrate|624|path_position|26.2750000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-170.265|Xload|14|Zload|5|S1speed|2497|
    S1load|17|S2load|0
98: 2019-10-10T23:08:10.248Z|path_position|16.9600000000 0.0000000000
    2.4000000000|Xact|-179.58|Xload|13|Zload|6|S1speed|2493
99: 2019-10-10T23:08:10.701Z|path_position|6.9790000000 0.0000000000
    2.4000000000|Xact|-189.561|Xload|15|S2load|1
100: 2019-10-10T23:08:11.153Z|path_feedrate|623|path_position|-1.6700000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-198.21|S1speed|2494|S2load|0
101: 2019-10-10T23:08:11.590Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 3.4000000000|Xact|-141.54|Xload|4|Zact|-314.643|S1speed
    |1866|S1load|83
102: 2019-10-10T23:08:12.042Z|path_feedrate|449|path_position|51.7050000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-144.835|Xload|19|Zact|-316.443|Zload|12|
    S1speed|1848|S1load|26
103: 2019-10-10T23:08:12.463Z|path_feedrate|518|path_position|44.4180000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-152.122|Xload|14|Zload|9|S1speed|2157|
    S1load|42
104: 2019-10-10T23:08:12.900Z|path_feedrate|614|path_position|36.4310000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-160.109|Xload|16|Zload|7|S1speed|2499|
    S1load|18|S2load|1
105: 2019-10-10T23:08:13.337Z|path_feedrate|624|path_position|27.1060000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-169.434|Xload|15|S1speed|2497|S1load|17|
    S2load|0
106: 2019-10-10T23:08:13.774Z|path_position|17.7910000000 0.0000000000
    1.6000000000|Xact|-178.749|S1speed|2496
107: 2019-10-10T23:08:14.211Z|path_position|9.1410000000 0.0000000000
    1.6000000000|Xact|-187.399|Xload|16|S1speed|2495|S2load|1
108: 2019-10-10T23:08:14.632Z|path_position|0.4920000000 0.0000000000
    1.6000000000|Xact|-196.048|Xload|13|S1speed|2496|S1load|6
109: 2019-10-10T23:08:15.069Z|path_feedrate|10000|path_position|48.6670000000
    0.0000000000 2.6000000000|Xact|-147.873|Xload|69|Zact|-315.443|Zload|9|
    S1speed|2182|S1load|78
110: 2019-10-10T23:08:15.505Z|path_feedrate|435|path_position|53.2570000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-143.283|Xload|16|Zact|-317.243|Zload|13|
    S1speed|1798|S1load|23|S2load|0
111: 2019-10-10T23:08:15.942Z|path_feedrate|487|path_position|46.7470000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-149.793|Xload|15|Zload|6|S1speed|2074|
    S1load|36|S2load|1
112: 2019-10-10T23:08:16.379Z|path_feedrate|579|path_position|38.5710000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-157.969|Zload|5|S1speed|2506|S1load|37|
    S2load|0

```



```

113: 2019-10-10T23:08:16.831Z|path_feedrate|624|path_position|29.2680000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-167.272|Zload|6|S1speed|2496|S1load|7|
    S2load|1
114: 2019-10-10T23:08:17.268Z|path_position|19.9530000000 0.0000000000
    0.8000000000|Xact|-176.587|Xload|13|Zload|7|S1speed|2497|S1load|6|S2load
    |0
115: 2019-10-10T23:08:17.705Z|path_position|11.3030000000 0.0000000000
    0.8000000000|Xact|-185.237|Xload|14|Zload|6|S1speed|2496
116: 2019-10-10T23:08:18.142Z|path_position|1.9880000000 0.0000000000
    0.8000000000|Xact|-194.552|S1speed|2494|S1load|7|S2load|1
117: 2019-10-10T23:08:18.610Z|path_feedrate|10000|path_position|35.3330000000
    0.0000000000 1.8000000000|Xact|-161.207|Xload|9|Zact|-316.243|Zload|14|
    S1speed|2327|S1load|69
118: 2019-10-10T23:08:19.047Z|path_feedrate|186|path_position|54.3060000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-142.234|Xload|16|Zact|-318.043|Zload|11|
    S1speed|1776|S1load|24|S2load|0
119: 2019-10-10T23:08:19.483Z|path_feedrate|486|path_position|47.4110000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-149.129|Zload|6|S1speed|2044|S1load|35
120: 2019-10-10T23:08:19.951Z|path_feedrate|577|path_position|38.7310000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-157.809|Xload|14|S1speed|2475|S1load|49
121: 2019-10-10T23:08:20.388Z|path_feedrate|624|path_position|30.1000000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-166.44|S1speed|2497|S1load|6|S2load|1
122: 2019-10-10T23:08:20.825Z|path_position|20.7840000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-175.756|Xload|13|S2load|0
123: 2019-10-10T23:08:21.262Z|path_position|11.4690000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-185.071|Xload|15|S1speed|2495|S1load|7
124: 2019-10-10T23:08:21.730Z|path_position|2.1550000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-194.385|Xload|13|Zload|5|S1speed|2493
125: 2019-10-10T23:08:22.167Z|path_feedrate|8571|path_position|22.0000000000
    0.0000000000 1.0000000000|Xact|-174.54|Xload|8|Zact|-317.043|Zload|12|
    S1speed|2397|S1load|62
126: 2019-10-10T23:08:22.603Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-141.54|Xload|4|Zact|-310.843|Zload|23|
    S1speed|1732|S1load|41|S2load|1
127: 2019-10-10T23:08:23.040Z|line|85|block|N85G28U0W0|path_feedrate|14142|
    path_position|172.3330000000 0.0000000000 65.8670000000|Xact|-24.207|
    Xload|47|Zact|-252.176|Zload|17|S1speed|503|S1load|55|S2load|0
128: 2019-10-10T23:08:23.461Z|path_feedrate|10000|path_position|196.5400000000
    0.0000000000 140.5330000000|Xact|0|Xload|45|Zact|-177.51|Zload|16|
    S1speed|485|S1load|3
129: 2019-10-10T23:08:23.945Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
    225.8670000000|Xload|39|Zact|-92.176|Zload|17|S1load|11|S2load|1
130: 2019-10-10T23:08:24.398Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
    295.2000000000|Xload|38|Zact|-22.843|Zload|11|S1speed|486|S1load|2|
    S2load|0
131: 2019-10-10T23:08:24.834Z|block|M30|path_feedrate|0|path_position
    |196.5400000000 0.0000000000 318.0430000000|Zact|0|Zload|14|S1speed|349|

```

```
S1load l52
```

```
132: 2019-10-10T23:08:25.287Z | message || ABRIR PORTA DO OPERADOR
```

Código-fonte 8 – Usinagem em Vazio 2

FACEAMENTO G75: FERRAMENTA 1

Este arquivo contém as informações de usinagem para a **Ferramenta 1**, Figura 71. As informações geradas no arquivo de dados estão relacionadas com o ciclo de faceamento G75. A usinagem foi realizada em dez passes iguais de 0,8 mm de profundidade de corte, velocidade de corte 300 m/min e avanço 0,25 mm/rot, conforme programa CNC **C.0.1**.

Figura 71 – Ferramenta 1.

Fonte: Elaborada pelo autor.

C.0.1 Programa CNC Ferramenta 1

```
1: (Facear 10 passes com 0,8 mm de profundidade de corte)
2: N10 G21 G40 G90 G95
3: N20 G54
4: N30 G28 U0 W0
5: N40 T0101 (DESBASTE)
6: N50 G96 S300 (VELOCIDADE DE CORTE)
7: N60 G92 S2500 M4
8: N70 G0 X55 Z7.2 M8
9: N80 G75 X-2 R1 Z0 P28500 Q800 F0.25
10: N90 G28 U0 W0 M9
11: N100 M30
```

Código-fonte 9 – Ciclo de Faceamento G75 (Ferramenta 1).

C.1 Arquivo de dados G75: Ferramenta 1

```

1: 2019-10-10T23:14:19.642Z|avail|AVAILABLE|part_count|0|SspeedOvr|100|Fovr
   |100|tool_id|100|program|777.777|program_comment|% O0777(USP-MTCONNECT)
   |line|0|block|O0777(USP-MTCONNECT)|path_feedrate|0|path_position
   |196.5400000000 0.0000000000 334.0430000000|active_axes|X Z C|mode|
   AUTOMATIC
2: 2019-10-10T23:14:19.642Z|servo|NORMAL|
3: 2019-10-10T23:14:19.642Z|comms|NORMAL|
4: 2019-10-10T23:14:19.642Z|logic|NORMAL|
5: 2019-10-10T23:14:19.642Z|motion|NORMAL|
6: 2019-10-10T23:14:19.642Z|system|NORMAL|
7: 2019-10-10T23:14:19.642Z|execution|STOPPED|f_command|0|estop|ARMED|Xact|0|
   Xload|42
8: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Xtravel|NORMAL|
9: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Xoverheat|NORMAL|
10: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Xservo|NORMAL|
11: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Zact|0|Zload|8
12: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Ztravel|NORMAL|
13: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Zoverheat|NORMAL|
14: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Zservo|NORMAL|
15: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Cact|0|Cload|0
16: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Ctravel|NORMAL|
17: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Coverheat|NORMAL|
18: 2019-10-10T23:14:19.642Z|Cservo|NORMAL|
19: 2019-10-10T23:14:19.642Z|S1speed|0|S1load|0
20: 2019-10-10T23:14:19.642Z|S1servo|NORMAL|
21: 2019-10-10T23:14:19.642Z|S2speed|0|S2load|0
22: 2019-10-10T23:14:19.642Z|S2servo|NORMAL|
23: 2019-10-10T23:14:20.437Z|Zload|9
24: 2019-10-10T23:14:21.311Z|Xload|43
25: 2019-10-10T23:14:21.779Z|Xload|42|Zload|8
26: 2019-10-10T23:14:22.216Z|Zload|9
27: 2019-10-10T23:14:23.121Z|tool_id|101|Xload|41|Zload|8
28: 2019-10-10T23:14:23.557Z|line|40|block|N40T0101(DESBASTE)|execution|ACTIVE|
   Xload|38|Zload|10|S2load|1
29: 2019-10-10T23:14:24.025Z|Xload|37|Zload|9
30: 2019-10-10T23:14:24.478Z|line|60|block|N60G92S2500M4|f_command|25|Xload|38|
   S1speed|276|S1load|103|S2load|0
31: 2019-10-10T23:14:24.899Z|line|70|block|N70G0X55Z7.2M8|path_feedrate|10232|
   path_position|168.8250000000 0.0000000000 270.0430000000|Xact|-27.715|
   Xload|16|Zact|-64|Zload|13|S1speed|1733|S1load|39
32: 2019-10-10T23:14:25.351Z|path_position|136.4900000000 0.0000000000
   195.3760000000|Xact|-60.05|Xload|13|Zact|-138.667|S1speed|1732|S1load|4|
   S2load|1
33: 2019-10-10T23:14:25.788Z|path_position|104.1560000000 0.0000000000
   120.7100000000|Xact|-92.384|Zact|-213.333|S2load|0

```

```

34: 2019-10-10T23:14:26.225Z|path_position|71.8210000000 0.0000000000
    46.0430000000|Xact|-124.719|Xload|16|Zact|-288|Zload|16|S1speed|1731
35: 2019-10-10T23:14:26.693Z|line|80|path_feedrate|124|path_position
    154.3070000000 0.0000000000 7.2000000000|Xact|-142.233|Xload|13|Zact
    |-326.843|Zload|10|S1speed|1773|S1load|20
36: 2019-10-10T23:14:27.130Z|block|N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25|path_feedrate
    |484|path_position|47.4150000000 0.0000000000 7.2000000000|Xact
    |-149.125|Xload|9|Zload|11|S1speed|2037|S1load|51|S2load|1
37: 2019-10-10T23:14:27.567Z|path_feedrate|575|path_position|39.3820000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-157.158|Xload|8|Zload|13|S1speed|2434|
    S1load|76|S2load|0
38: 2019-10-10T23:14:28.003Z|path_feedrate|624|path_position|30.1250000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-166.415|Xload|9|S1speed|2491|S1load|27
39: 2019-10-10T23:14:28.471Z|path_position|20.8150000000 0.0000000000
    7.2000000000|Xact|-175.725|S1speed|2493|S1load|20
40: 2019-10-10T23:14:28.908Z|path_feedrate|623|path_position|11.5030000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-185.037|Xload|8|S1load|16
41: 2019-10-10T23:14:29.345Z|path_position|2.1890000000 0.0000000000
    7.2000000000|Xact|-194.351|Xload|9|S1speed|2497|S1load|8
42: 2019-10-10T23:14:29.813Z|path_feedrate|10|path_position|8.6670000000
    0.0000000000 8.2000000000|Xact|-187.873|Xload|57|Zact|-325.843|Zload|9|
    S1speed|2357|S1load|60
43: 2019-10-10T23:14:30.250Z|path_position|54.5380000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xact|-142.002|Xload|13|Zact|-327.643|Zload|11|S1speed|1752|
    S1load|27
44: 2019-10-10T23:14:30.687Z|path_feedrate|474|path_position|48.1980000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-148.342|Xload|9|S1speed|2003|S1load|50
45: 2019-10-10T23:14:31.139Z|path_feedrate|556|path_position|40.3160000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-156.224|Xload|8|Zload|15|S1speed|2414|
    S1load|76
46: 2019-10-10T23:14:31.576Z|path_feedrate|624|path_position|31.1220000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-165.418|Xload|12|Zload|14|S1speed|2494|
    S1load|27|S2load|1
47: 2019-10-10T23:14:32.044Z|path_feedrate|623|path_position|21.1470000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-175.393|Xload|8|Zload|15|S1speed|2493|
    S1load|21
48: 2019-10-10T23:14:32.481Z|path_feedrate|624|path_position|12.5010000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-184.039|S1load|15
49: 2019-10-10T23:14:32.917Z|path_position|3.1870000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xact|-193.353|Xload|10|Zload|14|S1speed|2495|S1load|10
50: 2019-10-10T23:14:33.354Z|path_feedrate|10|path_position|3.3330000000
    0.0000000000 7.4000000000|Xact|-193.207|Xload|29|Zact|-326.643|Zload|10|
    S1speed|2433|S1load|56|S2load|0
51: 2019-10-10T23:14:33.822Z|path_position|55.0000000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-141.54|Xload|41|Zact|-328.443|Zload|2|S1speed|1743|
    S1load|28

```

```

52: 2019-10-10T23:14:34.259Z|path_feedrate|471|path_position|48.4560000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-148.084|Xload|10|Zload|10|S1speed|1972|
    S1load|46
53: 2019-10-10T23:14:34.696Z|path_feedrate|553|path_position|40.6220000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-155.918|Zload|14|S1speed|2357|S1load|72
54: 2019-10-10T23:14:35.133Z|path_feedrate|624|path_position|32.1190000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-164.421|Xload|13|S1speed|2496|S1load|27|
    S2load|1
55: 2019-10-10T23:14:35.585Z|path_position|22.8090000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-173.731|Xload|7|Zload|13|S1speed|2495|S1load|20
56: 2019-10-10T23:14:36.022Z|path_position|13.4980000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-183.042|Xload|10|Zload|14|S1speed|2497|S1load|15
57: 2019-10-10T23:14:36.459Z|path_position|4.8490000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-191.691|Xload|8|Zload|13|S1speed|2495|S1load|10|
    S2load|0
58: 2019-10-10T23:14:36.895Z|path_feedrate|1071|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 6.6000000000|Xact|-198.54|Xload|15|Zact|-327.443|Zload|9|
    S1speed|2493|S1load|27|S2load|1
59: 2019-10-10T23:14:37.332Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-141.54|Xload|42|Zact|-329.243|Zload|23|
    S1speed|1732|S1load|51|S2load|0
60: 2019-10-10T23:14:37.769Z|path_feedrate|462|path_position|49.7300000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-146.81|Xload|13|Zload|8|S1speed|1941|
    S1load|41|S2load|1
61: 2019-10-10T23:14:38.237Z|path_feedrate|537|path_position|42.1250000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-154.415|Xload|10|Zload|13|S1speed|2303|
    S1load|68|S2load|0
62: 2019-10-10T23:14:38.674Z|path_feedrate|625|path_position|33.7840000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-162.756|Xload|13|S1speed|2492|S1load|28
63: 2019-10-10T23:14:39.111Z|path_feedrate|623|path_position|23.8070000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-172.733|Xload|9|S1speed|2493|S1load|22
64: 2019-10-10T23:14:39.547Z|path_feedrate|624|path_position|15.8270000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-180.713|Xload|10|S1load|17|S2load|1
65: 2019-10-10T23:14:39.969Z|path_position|6.5140000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xact|-190.026|Xload|5|S1speed|2497|S1load|10
66: 2019-10-10T23:14:40.452Z|path_feedrate|16|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 5.8000000000|Xact|-198.54|Xload|13|Zact|-328.243|Zload|2|
    S1load|6
67: 2019-10-10T23:14:40.873Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 5.8000000000|Xact|-141.54|Xload|10|Zload|5|S1speed|1818|
    S1load|73|S2load|0
68: 2019-10-10T23:14:41.310Z|path_feedrate|452|path_position|50.9730000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-145.567|Xload|15|Zact|-330.043|Zload|9|
    S1speed|1894|S1load|30|S2load|1
69: 2019-10-10T23:14:41.747Z|path_feedrate|522|path_position|43.5780000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-152.962|Xload|9|Zload|11|S1speed|2199|
    S1load|60

```

```

70: 2019-10-10T23:14:42.184Z|path_feedrate|625|path_position|34.7830000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-161.757|Xload|10|Zload|12|S1speed|2498|
    S1load|29|S2load|0
71: 2019-10-10T23:14:42.621Z|path_feedrate|623|path_position|26.8010000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-169.739|Xload|8|S1speed|2494|S1load|22|
    S2load|1
72: 2019-10-10T23:14:43.042Z|path_position|17.4900000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-179.05|Xload|10|Zload|13|S1load|17|S2load|0
73: 2019-10-10T23:14:43.510Z|path_feedrate|624|path_position|7.5120000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-189.028|Xload|6|S1speed|2496|S1load|12
74: 2019-10-10T23:14:43.947Z|path_position|-1.1370000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-197.677|Xload|11|Zload|11|S1speed|2494|S1load|8
75: 2019-10-10T23:14:44.383Z|path_feedrate|6250|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 5.0000000000|Xact|-141.54|Xload|3|Zact|-329.043|Zload|3|
    S1speed|1860|S1load|82
76: 2019-10-10T23:14:44.898Z|path_feedrate|450|path_position|51.2180000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-145.322|Xload|15|Zact|-330.843|Zload|10|
    S1speed|1887|S1load|29|S2load|1
77: 2019-10-10T23:14:45.335Z|path_feedrate|519|path_position|43.8620000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-152.678|Xload|9|Zload|13|S1speed|2211|
    S1load|61|S2load|0
78: 2019-10-10T23:14:45.787Z|path_feedrate|625|path_position|35.1160000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-161.424|Xload|10|S1speed|2494|S1load|29
79: 2019-10-10T23:14:46.240Z|path_feedrate|624|path_position|25.8020000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-170.738|Zload|14|S1speed|2492|S1load|22
80: 2019-10-10T23:14:46.692Z|path_position|16.4920000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-180.048|Xload|11|S1speed|2494|S1load|17
81: 2019-10-10T23:14:47.129Z|path_feedrate|623|path_position|7.1790000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-189.361|Xload|8|S1speed|2497|S1load|11
82: 2019-10-10T23:14:47.597Z|path_position|-2.0000000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-198.54|Xload|15|Zload|10|S1load|6
83: 2019-10-10T23:14:48.034Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 4.2000000000|Xact|-141.54|Xload|2|Zact|-329.843|Zload|5|
    S1speed|1903|S1load|86
84: 2019-10-10T23:14:48.471Z|path_feedrate|448|path_position|51.4610000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-145.079|Xload|17|Zact|-331.643|Zload|9|
    S1speed|1879|S1load|27|S2load|1
85: 2019-10-10T23:14:48.939Z|path_feedrate|516|path_position|44.1450000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-152.395|Xload|9|Zload|12|S1speed|2195|
    S1load|60
86: 2019-10-10T23:14:49.375Z|path_feedrate|624|path_position|35.4480000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-161.092|Xload|11|Zload|13|S1speed|2495|
    S1load|30
87: 2019-10-10T23:14:49.812Z|path_position|26.1340000000 0.0000000000
    2.4000000000|Xact|-170.406|Xload|8|Zload|12|S1speed|2494|S1load|22|
    S2load|0

```

```

88: 2019-10-10T23:14:50.249Z|path_position|17.4890000000 0.0000000000
    2.4000000000|Xact|-179.051|Xload|11|Zload|13|S1speed|2493|S1load|18|
    S2load|1
89: 2019-10-10T23:14:50.686Z|path_feedrate|623|path_position|8.1760000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-188.364|Xload|10|S1load|13|S2load|0
90: 2019-10-10T23:14:51.123Z|path_feedrate|624|path_position|-0.4730000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-197.013|Xload|9|Zload|11|S1load|8
91: 2019-10-10T23:14:51.559Z|path_feedrate|1964|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 3.4000000000|Xact|-141.54|Xload|21|Zact|-330.643|Zload|6|
    S1speed|2092|S1load|81|S2load|1
92: 2019-10-10T23:14:52.027Z|path_feedrate|446|path_position|52.1870000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-144.353|Xload|15|Zact|-332.443|Zload|9|
    S1speed|1851|S1load|25
93: 2019-10-10T23:14:52.464Z|path_feedrate|503|path_position|45.5360000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-151.004|Xload|10|Zload|12|S1speed|2129|
    S1load|55
94: 2019-10-10T23:14:52.885Z|path_feedrate|605|path_position|37.1160000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-159.424|S1speed|2498|S1load|45|S2load|0
95: 2019-10-10T23:14:53.322Z|path_feedrate|624|path_position|28.4630000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-168.077|S1speed|2493|S1load|24
96: 2019-10-10T23:14:53.759Z|path_feedrate|623|path_position|19.1520000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-177.388|Xload|11|S1speed|2496|S1load|17
97: 2019-10-10T23:14:54.196Z|path_position|9.8400000000 0.0000000000
    1.6000000000|Xact|-186.7|S1speed|2497|S1load|13|S2load|1
98: 2019-10-10T23:14:54.633Z|path_feedrate|624|path_position|0.5260000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-196.014|Xload|10|Zload|10|S1speed|2498|
    S1load|7|S2load|0
99: 2019-10-10T23:14:55.069Z|path_feedrate|10000|path_position|35.3330000000
    0.0000000000 2.6000000000|Xact|-161.207|Xload|92|Zact|-331.443|Zload|11|
    S1speed|2262|S1load|74
100: 2019-10-10T23:14:55.522Z|path_feedrate|433|path_position|53.8440000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-142.696|Xload|18|Zact|-333.243|S1speed
    |1806|S1load|22
101: 2019-10-10T23:14:55.974Z|path_feedrate|490|path_position|46.3510000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-150.189|Xload|9|Zload|10|S1speed|2061|
    S1load|54|S2load|1
102: 2019-10-10T23:14:56.411Z|path_feedrate|585|path_position|38.7480000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-157.792|Xload|7|Zload|12|S1speed|2498|
    S1load|56|S2load|0
103: 2019-10-10T23:14:56.863Z|path_feedrate|623|path_position|29.4610000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-167.079|Xload|10|Zload|13|S1speed|2492|
    S1load|26|S2load|1
104: 2019-10-10T23:14:57.300Z|path_position|20.1510000000 0.0000000000
    0.8000000000|Xact|-176.389|Xload|6|Zload|12|S1load|20
105: 2019-10-10T23:14:57.737Z|path_feedrate|624|path_position|10.8380000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-185.702|Xload|10|S1speed|2493|S1load|15

```



```

106: 2019-10-10T23:14:58.174Z|path_position|2.1900000000 0.0000000000
      0.8000000000|Xact|-194.35|Xload|9|S1speed|2496|S1load|8|S2load|0
107: 2019-10-10T23:14:58.611Z|path_feedrate|2857|path_position|8.6670000000
      0.0000000000 1.8000000000|Xact|-187.873|Xload|59|Zact|-332.243|Zload|9|
      S1speed|2414|S1load|52
108: 2019-10-10T23:14:59.016Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
      0.0000000000 0.0000000000|Xact|-141.54|Xload|43|Zact|-334.043|Zload|11|
      S1speed|1738|S1load|35
109: 2019-10-10T23:14:59.437Z|path_feedrate|471|path_position|48.7130000000
      0.0000000000 0.0000000000|Xact|-147.827|Xload|8|Zload|11|S1speed|1983|
      S1load|47|S2load|1
110: 2019-10-10T23:14:59.905Z|path_feedrate|553|path_position|40.9290000000
      0.0000000000 0.0000000000|Xact|-155.611|Xload|10|Zload|15|S1speed|2413|
      S1load|76
111: 2019-10-10T23:15:00.373Z|path_feedrate|624|path_position|31.1230000000
      0.0000000000 0.0000000000|Xact|-165.417|Xload|12|S1speed|2492|S1load|27
112: 2019-10-10T23:15:00.810Z|path_position|21.8130000000 0.0000000000
      0.0000000000|Xact|-174.727|Xload|8|Zload|14|S1speed|2495|S1load|19|
      S2load|0
113: 2019-10-10T23:15:01.278Z|path_position|12.5010000000 0.0000000000
      0.0000000000|Xact|-184.039|Xload|12|S1speed|2493|S1load|14
114: 2019-10-10T23:15:01.715Z|path_position|3.1880000000 0.0000000000
      0.0000000000|Xact|-193.352|Xload|8|S1load|9
115: 2019-10-10T23:15:02.183Z|path_feedrate|0|path_position|3.3330000000
      0.0000000000 1.0000000000|Xact|-193.207|Xload|29|Zact|-333.043|Zload|9|
      S1speed|2436|S1load|56
116: 2019-10-10T23:15:02.620Z|path_position|55.0000000000 0.0000000000
      7.2000000000|Xact|-141.54|Xload|42|Zact|-326.843|Zload|14|S1speed|1734|
      S1load|30
117: 2019-10-10T23:15:03.057Z|line|85|block|N85G28U0W0|path_feedrate|14142|
      path_position|175.0000000000 0.0000000000 67.2000000000|Xact|-21.54|
      Xload|48|Zact|-266.843|Zload|16|S1speed|548|S1load|64
118: 2019-10-10T23:15:03.493Z|path_feedrate|10000|path_position|196.5400000000
      0.0000000000 141.8670000000|Xact|0|Xload|42|Zact|-192.176|Zload|17|
      S1speed|486|S1load|3|S2load|1
119: 2019-10-10T23:15:03.961Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
      216.5330000000|Xload|38|Zact|-117.51|Zload|15|S1load|2
120: 2019-10-10T23:15:04.429Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
      296.5330000000|Xload|37|Zact|-37.51|S2load|0
121: 2019-10-10T23:15:04.897Z|path_feedrate|0|path_position|196.5400000000
      0.0000000000 334.0430000000|Xload|36|Zact|0|Zload|13|S1speed|485|S1load
      |27
122: 2019-10-10T23:15:05.334Z|message||ABRIR PORTA DO OPERADOR

```


FACEAMENTO G75: FERRAMENTA 2

Este arquivo contém as informações de usinagem para a **Ferramenta 2**, Figura 72. As informações geradas no arquivo de dados estão relacionadas com o ciclo de faceamento G75. A usinagem foi realizada em dez passes iguais de 0,8 mm de profundidade de corte, velocidade de corte 300 m/min e avanço 0,25 mm/rot, conforme programa CNC **D.0.1**.

Figura 72 – Ferramenta 2

Fonte: Elaborada pelo autor.

D.0.1 Programa CNC Ferramenta 2

```

1: (Facear 10 passes com 0,8 mm de profundidade de corte)
2: N10 G21 G40 G90 G95
3: N20 G54
4: N30 G28 U0 W0
5: N40 T0101 (DESBASTE)
6: N50 G96 S300 (VELOCIDADE DE CORTE)
7: N60 G92 S2500 M4
8: N70 G0 X55 Z7.2 M8
9: N80 G75 X-2 R1 Z0 P28500 Q800 F0.25
10: N90 G28 U0 W0
11: N100 M30
  
```

Código-fonte 10 – Ciclo de Faceamento G75 (Ferramenta 2)

D.1 Arquivo de dados G75: Ferramenta 2

```

1: 2019-10-10T23:25:59.169Z|avail|AVAILABLE|part_count|0|SspeedOvr|100|Fovr
   |100|tool_id|100|program|777.777|program_comment|% 00777(USP-MITCONNECT)
   |line|0|block|00777(USP-MITCONNECT)|path_feedrate|0|path_position
   |196.5400000000 0.0000000000 317.7600000000|active_axes|X Z C|mode|
   MANUAL
2: 2019-10-10T23:25:59.169Z|servo|NORMAL|
3: 2019-10-10T23:25:59.169Z|comms|NORMAL|
4: 2019-10-10T23:25:59.169Z|logic|NORMAL|
5: 2019-10-10T23:25:59.169Z|motion|NORMAL|
6: 2019-10-10T23:25:59.169Z|system|NORMAL|
7: 2019-10-10T23:25:59.169Z|execution|STOPPED|f_command|0|estop|ARMED|Xact|0|
   Xload|38
8: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Xtravel|NORMAL|
9: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Xoverheat|NORMAL|
10: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Xservo|NORMAL|
11: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Zact|0|Zload|9
12: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Ztravel|NORMAL|
13: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Zoverheat|NORMAL|
14: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Zservo|NORMAL|
15: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Cact|0|Cload|0
16: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Ctravel|NORMAL|
17: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Coverheat|NORMAL|
18: 2019-10-10T23:25:59.169Z|Cservo|NORMAL|
19: 2019-10-10T23:25:59.169Z|S1speed|0|S1load|0
20: 2019-10-10T23:25:59.169Z|S1servo|NORMAL|
21: 2019-10-10T23:25:59.169Z|S2speed|0|S2load|1
22: 2019-10-10T23:25:59.169Z|S2servo|NORMAL|
23: 2019-10-10T23:25:59.481Z|Zload|10|S2load|0
24: 2019-10-10T23:25:59.917Z|Zload|9
25: 2019-10-10T23:26:00.791Z|S2load|1
26: 2019-10-10T23:26:01.243Z|Xload|37|S2load|0
27: 2019-10-10T23:26:01.696Z|Xload|38|S2load|1
28: 2019-10-10T23:26:02.133Z|S2load|0
29: 2019-10-10T23:26:02.585Z|Zload|8|S2load|1
30: 2019-10-10T23:26:03.037Z|S2load|0
31: 2019-10-10T23:26:03.459Z|Xload|37|Zload|9
32: 2019-10-10T23:26:03.927Z|Xload|38|S2load|1
33: 2019-10-10T23:26:04.363Z|S2load|0
34: 2019-10-10T23:26:05.705Z|S2load|1
35: 2019-10-10T23:26:06.142Z|Xload|37|S2load|0
36: 2019-10-10T23:26:06.579Z|Xload|38|S2load|1
37: 2019-10-10T23:26:07.031Z|Xload|37|S2load|0
38: 2019-10-10T23:26:07.452Z|Xload|38
39: 2019-10-10T23:26:08.747Z|Zload|8
40: 2019-10-10T23:26:09.153Z|mode|AUTOMATIC
41: 2019-10-10T23:26:09.589Z|Zload|9

```

```

42: 2019-10-10T23:26:10.510Z|tool_id|101|line|40|block|N40T0101(DESBASTE)|
    execution|ACTIVE|Xload|34|S1load|4
43: 2019-10-10T23:26:10.978Z|line|70|block|N70G0X55Z7.2M8|path_feedrate|10256|
    path_position|175.8790000000 0.0000000000 272.4270000000|f_command|25|
    Xact|-20.661|Xload|13|Zact|-45.333|Zload|11|S1speed|1649|S1load|111|
    S2load|1
44: 2019-10-10T23:26:11.415Z|path_position|144.2800000000 0.0000000000
    203.0930000000|Xact|-52.26|Xload|14|Zact|-114.667|Zload|16|S1speed|1732|
    S1load|5|S2load|0
45: 2019-10-10T23:26:11.867Z|path_position|110.2500000000 0.0000000000
    128.4270000000|Xact|-86.29|Xload|17|Zact|-189.333|Zload|15|S1speed|1733|
    S1load|3|S2load|1
46: 2019-10-10T23:26:12.288Z|path_position|76.2200000000 0.0000000000
    53.7600000000|Xact|-120.32|Xload|13|Zact|-264|S1speed|1735|S2load|0
47: 2019-10-10T23:26:12.741Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-141.54|Xload|16|Zact|-310.56|Zload|2|
    S1speed|1751|S1load|16
48: 2019-10-10T23:26:13.209Z|line|80|block|N80G75X-2R1Z0P28500Q800F0.25|
    path_feedrate|481|path_position|48.1970000000 0.0000000000 7.2000000000|
    Xact|-148.343|Xload|12|Zload|9|S1speed|2005|S1load|45
49: 2019-10-10T23:26:13.645Z|path_feedrate|568|path_position|40.3140000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-156.226|Zload|11|S1speed|2373|S1load|73|
    S2load|1
50: 2019-10-10T23:26:14.082Z|path_feedrate|624|path_position|31.1200000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-165.42|Xload|11|Zload|12|S1speed|2493|
    S1load|26
51: 2019-10-10T23:26:14.519Z|path_feedrate|623|path_position|22.4750000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-174.065|Xload|8|Zload|11|S1speed|2496|
    S1load|19|S2load|0
52: 2019-10-10T23:26:14.956Z|path_feedrate|624|path_position|13.1630000000
    0.0000000000 7.2000000000|Xact|-183.377|Xload|12|Zload|12|S1load|14|
    S2load|1
53: 2019-10-10T23:26:15.393Z|path_position|3.8490000000 0.0000000000
    7.2000000000|Xact|-192.691|Xload|6|S1speed|2497|S1load|9|S2load|0
54: 2019-10-10T23:26:15.829Z|path_feedrate|1071|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 8.2000000000|Xact|-198.54|Xload|14|Zact|-309.56|Zload|11|
    S1speed|2495|S1load|35
55: 2019-10-10T23:26:16.282Z|path_feedrate|1429|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-141.54|Xload|43|Zact|-311.36|Zload|9|
    S1speed|1733|S1load|38|S2load|1
56: 2019-10-10T23:26:16.734Z|path_feedrate|462|path_position|49.4760000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-147.064|Xload|14|Zload|8|S1speed|1929|
    S1load|39|S2load|0
57: 2019-10-10T23:26:17.155Z|path_feedrate|539|path_position|42.4180000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-154.122|Xload|13|Zload|12|S1speed|2291|
    S1load|65|S2load|1

```

```

58: 2019-10-10T23:26:17.592Z|path_feedrate|625|path_position|33.4490000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-163.091|Xload|12|S1speed|2492|S1load|27
59: 2019-10-10T23:26:18.060Z|path_feedrate|624|path_position|23.4720000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-173.068|Xload|11|S1load|21|S2load|0
60: 2019-10-10T23:26:18.497Z|path_position|14.8260000000 0.0000000000
    6.4000000000|Xact|-181.714|S1speed|2493|S1load|16
61: 2019-10-10T23:26:18.934Z|path_feedrate|623|path_position|5.5130000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-191.027|Xload|6|Zload|11|S1speed|2496|
    S1load|10
62: 2019-10-10T23:26:19.371Z|path_feedrate|549|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 6.4000000000|Xact|-198.54|Xload|16|Zload|4|S1speed|2495|
    S1load|8
63: 2019-10-10T23:26:19.776Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 7.4000000000|Xact|-141.54|Xload|2|Zact|-310.36|Zload|3|
    S1speed|1941|S1load|84
64: 2019-10-10T23:26:20.197Z|path_feedrate|453|path_position|51.2180000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-145.322|Xload|15|Zact|-312.16|Zload|8|
    S1speed|1886|S1load|28|S2load|1
65: 2019-10-10T23:26:20.665Z|path_feedrate|523|path_position|43.8620000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-152.678|Xload|9|Zload|11|S1speed|2211|
    S1load|61
66: 2019-10-10T23:26:21.102Z|path_feedrate|625|path_position|35.1140000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-161.426|Xload|13|S1speed|2496|S1load|30
67: 2019-10-10T23:26:21.539Z|path_feedrate|623|path_position|25.8000000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-170.74|Xload|10|S1speed|2495|S1load|20|
    S2load|0
68: 2019-10-10T23:26:22.007Z|path_feedrate|624|path_position|16.4890000000
    0.0000000000 5.6000000000|Xact|-180.051|Xload|13|S1speed|2496|S1load|16|
    S2load|1
69: 2019-10-10T23:26:22.444Z|path_position|7.1760000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-189.364|Xload|10|S1speed|2495|S1load|11|S2load|0
70: 2019-10-10T23:26:22.881Z|path_position|-2.0000000000 0.0000000000
    5.6000000000|Xact|-198.54|Xload|17|Zload|9|S1speed|2493|S1load|8
71: 2019-10-10T23:26:23.349Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 6.6000000000|Xact|-141.54|Xload|5|Zact|-311.16|Zload|5|
    S1speed|1902|S1load|85
72: 2019-10-10T23:26:23.801Z|path_feedrate|451|path_position|51.4630000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-145.077|Xload|15|Zact|-312.96|Zload|10|
    S1speed|1858|S1load|26|S2load|1
73: 2019-10-10T23:26:24.222Z|path_feedrate|520|path_position|44.1450000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-152.395|Xload|11|Zload|12|S1speed|2197|
    S1load|60|S2load|0
74: 2019-10-10T23:26:24.690Z|path_feedrate|625|path_position|35.4480000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-161.092|Xload|14|S1speed|2498|S1load|26|
    S2load|1
75: 2019-10-10T23:26:25.158Z|path_feedrate|623|path_position|25.4680000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-171.072|Xload|10|Zload|11|S1speed|2494|

```

```

S1load|21|S2load|0
76: 2019-10-10T23:26:25.626Z|path_feedrate|624|path_position|16.1570000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-180.383|Xload|8|Zload|13|S1speed|2493|
    S1load|17
77: 2019-10-10T23:26:26.063Z|path_position|6.8450000000 0.0000000000
    4.8000000000|Xact|-189.695|Zload|12|S1speed|2498|S1load|11
78: 2019-10-10T23:26:26.531Z|path_feedrate|282|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 4.8000000000|Xact|-198.54|Xload|17|Zload|5|S1speed|2496|
    S1load|6
79: 2019-10-10T23:26:26.999Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 5.8000000000|Xact|-141.54|Xload|23|Zact|-311.96|Zload|4|
    S1speed|1772|S1load|64
80: 2019-10-10T23:26:27.436Z|path_feedrate|456|path_position|50.7260000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-145.814|Xload|17|Zact|-313.76|Zload|8|
    S1speed|1886|S1load|29
81: 2019-10-10T23:26:27.873Z|path_feedrate|529|path_position|43.2910000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-153.249|Xload|11|Zload|11|S1speed|2239|
    S1load|63|S2load|1
82: 2019-10-10T23:26:28.341Z|path_feedrate|625|path_position|34.4490000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-162.091|S1speed|2494|S1load|27|S2load|0
83: 2019-10-10T23:26:28.793Z|path_feedrate|623|path_position|25.1360000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-171.404|Xload|9|S1speed|2496|S1load|19
84: 2019-10-10T23:26:29.277Z|path_position|15.1590000000 0.0000000000
    4.0000000000|Xact|-181.381|Xload|11|Zload|12|S1speed|2495|S1load|15|
    S2load|1
85: 2019-10-10T23:26:29.713Z|path_feedrate|624|path_position|5.8460000000
    0.0000000000 4.0000000000|Xact|-190.694|Xload|10|S1speed|2494|S1load|11
86: 2019-10-10T23:26:30.181Z|path_feedrate|1071|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 5.0000000000|Xact|-198.54|Xload|13|Zact|-312.76|Zload|3|
    S1load|7
87: 2019-10-10T23:26:30.618Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 5.0000000000|Xact|-141.54|Xload|32|Zload|11|S1speed|1730|
    S1load|46|S2load|0
88: 2019-10-10T23:26:31.086Z|path_feedrate|461|path_position|49.9810000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-146.559|Xload|17|Zact|-314.56|Zload|8|
    S1speed|1913|S1load|34
89: 2019-10-10T23:26:31.523Z|path_feedrate|537|path_position|42.4180000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-154.122|Xload|11|Zload|11|S1speed|2257|
    S1load|64
90: 2019-10-10T23:26:31.960Z|path_feedrate|625|path_position|34.1150000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-162.425|S1speed|2495|S1load|25
91: 2019-10-10T23:26:32.397Z|path_feedrate|623|path_position|24.8030000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-171.737|Xload|10|Zload|12|S1speed|2496|
    S1load|19
92: 2019-10-10T23:26:32.865Z|path_feedrate|624|path_position|14.8270000000
    0.0000000000 3.2000000000|Xact|-181.713|Zload|11|S1speed|2492|S1load|16

```

```

93: 2019-10-10T23:26:33.333Z|path_position|5.5130000000 0.0000000000
    3.2000000000|Xact|-191.027|Xload|9|S1speed|2493|S1load|10
94: 2019-10-10T23:26:33.785Z|path_feedrate|15|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 4.2000000000|Xact|-198.54|Xload|15|Zact|-313.56|Zload|16|
    S1load|7|S2load|1
95: 2019-10-10T23:26:34.206Z|path_feedrate|10|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 4.2000000000|Xact|-141.54|Xload|22|Zload|5|S1speed|1861|
    S1load|82|S2load|0
96: 2019-10-10T23:26:34.627Z|path_feedrate|452|path_position|51.2180000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-145.322|Xload|16|Zact|-315.36|Zload|9|
    S1speed|1886|S1load|28
97: 2019-10-10T23:26:35.064Z|path_feedrate|522|path_position|43.8620000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-152.678|Xload|12|Zload|10|S1speed|2242|
    S1load|61
98: 2019-10-10T23:26:35.532Z|path_feedrate|625|path_position|34.4480000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-162.092|Xload|10|S1speed|2498|S1load|25
99: 2019-10-10T23:26:36.000Z|path_feedrate|623|path_position|25.1350000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-171.405|Xload|9|S1speed|2492|S1load|21|
    S2load|1
100: 2019-10-10T23:26:36.468Z|path_feedrate|624|path_position|15.1590000000
    0.0000000000 2.4000000000|Xact|-181.381|Xload|12|Zload|11|S1speed|2493|
    S1load|16|S2load|0
101: 2019-10-10T23:26:36.921Z|path_position|5.8460000000 0.0000000000
    2.4000000000|Xact|-190.694|Xload|9|S1speed|2496|S1load|10|S2load|1
102: 2019-10-10T23:26:37.373Z|path_feedrate|193|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 3.4000000000|Xact|-198.54|Xload|15|Zact|-314.36|Zload|2|
    S1speed|2497|S1load|6|S2load|0
103: 2019-10-10T23:26:37.810Z|path_feedrate|10|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 3.4000000000|Xact|-141.54|Xload|33|Zload|0|S1speed|1820|
    S1load|73
104: 2019-10-10T23:26:38.247Z|path_feedrate|457|path_position|50.4790000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-146.061|Xload|15|Zact|-316.16|Zload|9|
    S1speed|1912|S1load|34
105: 2019-10-10T23:26:38.715Z|path_feedrate|531|path_position|43.0020000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-153.538|Xload|11|Zload|12|S1speed|2257|
    S1load|63
106: 2019-10-10T23:26:39.151Z|path_feedrate|625|path_position|34.1150000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-162.425|Xload|14|S1speed|2494|S1load|26
107: 2019-10-10T23:26:39.588Z|path_feedrate|624|path_position|24.8040000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-171.736|Xload|11|S1speed|2493|S1load|21|
    S2load|1
108: 2019-10-10T23:26:40.056Z|path_position|15.4920000000 0.0000000000
    1.6000000000|Xact|-181.048|Xload|10|S1load|16
109: 2019-10-10T23:26:40.493Z|path_feedrate|623|path_position|6.1790000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-190.361|Xload|7|Zload|13|S1speed|2496|
    S1load|12|S2load|0

```



```

110: 2019-10-10T23:26:40.930Z|path_feedrate|371|path_position|-2.0000000000
    0.0000000000 1.6000000000|Xact|-198.54|Xload|17|Zload|4|S1speed|2494|
    S1load|7
111: 2019-10-10T23:26:41.367Z|path_feedrate|0|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 2.6000000000|Xact|-141.54|Xload|3|Zact|-315.16|S1speed
    |1858|S1load|81
112: 2019-10-10T23:26:41.819Z|path_feedrate|448|path_position|51.2190000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-145.321|Xload|15|Zact|-316.96|Zload|9|
    S1speed|1905|S1load|29|S2load|1
113: 2019-10-10T23:26:42.271Z|path_feedrate|527|path_position|43.2910000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-153.249|Xload|9|Zload|11|S1speed|2213|
    S1load|59
114: 2019-10-10T23:26:42.708Z|path_feedrate|624|path_position|35.1150000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-161.425|Xload|11|S1speed|2499|S1load|27|
    S2load|0
115: 2019-10-10T23:26:43.161Z|path_feedrate|623|path_position|25.8010000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-170.739|Xload|10|S1speed|2494|S1load|20
116: 2019-10-10T23:26:43.597Z|path_feedrate|624|path_position|16.4900000000
    0.0000000000 0.8000000000|Xact|-180.05|Xload|11|S1speed|2496|S1load|16
117: 2019-10-10T23:26:44.034Z|path_position|7.1780000000 0.0000000000
    0.8000000000|Xact|-189.362|Xload|9|Zload|12|S1speed|2494|S1load|12|
    S2load|1
118: 2019-10-10T23:26:44.471Z|path_position|-1.4720000000 0.0000000000
    0.8000000000|Xact|-198.012|Xload|10|Zload|10|S1speed|2493|S1load|8
119: 2019-10-10T23:26:44.908Z|path_feedrate|1964|path_position|55.0000000000
    0.0000000000 1.8000000000|Xact|-141.54|Xload|7|Zact|-315.96|Zload|6|
    S1speed|2054|S1load|82|S2load|0
120: 2019-10-10T23:26:45.345Z|path_feedrate|446|path_position|51.9470000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-144.593|Xload|16|Zact|-317.76|Zload|11|
    S1speed|1841|S1load|25
121: 2019-10-10T23:26:45.781Z|path_feedrate|502|path_position|45.8090000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-150.731|Xload|10|Zload|10|S1speed|2168|
    S1load|57|S2load|1
122: 2019-10-10T23:26:46.249Z|path_feedrate|606|path_position|36.7820000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-159.758|Xload|11|Zload|11|S1speed|2497|
    S1load|40
123: 2019-10-10T23:26:46.671Z|path_feedrate|624|path_position|27.4640000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-169.076|S1speed|2493|S1load|23
124: 2019-10-10T23:26:47.107Z|path_feedrate|623|path_position|18.8180000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-177.722|Xload|9|S1load|18|S2load|0
125: 2019-10-10T23:26:47.544Z|path_position|9.5050000000 0.0000000000
    0.0000000000|Xact|-187.035|Zload|12|S1speed|2496|S1load|12|S2load|1
126: 2019-10-10T23:26:47.981Z|path_feedrate|624|path_position|0.1900000000
    0.0000000000 0.0000000000|Xact|-196.35|Zload|10|S1speed|2495|S1load|8|
    S2load|0
127: 2019-10-10T23:26:48.418Z|path_feedrate|10000|path_position|51.3330000000
    0.0000000000 1.0000000000|Xact|-145.207|Xload|83|Zact|-316.76|S1speed

```

```

12230|S1load|76|S2load|1
128: 2019-10-10T23:26:48.855Z|line|85|path_feedrate|0|path_position
    |63.0000000000 0.0000000000 11.2000000000|Xact|-133.54|Xload|55|Zact
    |-306.56|Zload|19|S1speed|1581|S1load|65|S2load|0
129: 2019-10-10T23:26:49.291Z|block|N85G28U0W0|path_feedrate|13243|path_position
    |196.5400000000 0.0000000000 85.8670000000|Xact|0|Xload|28|Zact
    |-231.893|Zload|14|S1speed|486|S1load|29
130: 2019-10-10T23:26:49.728Z|path_feedrate|10000|path_position|196.5400000000
    0.0000000000 155.2000000000|Xload|39|Zact|-162.56|Zload|16|S1load|2|
    S2load|1
131: 2019-10-10T23:26:50.149Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
    229.8670000000|Xload|36|Zact|-87.893|Zload|13
132: 2019-10-10T23:26:50.586Z|path_position|196.5400000000 0.0000000000
    299.2000000000|Zact|-18.56|Zload|15|S2load|0
133: 2019-10-10T23:26:51.023Z|block|M30|path_feedrate|0|path_position
    |196.5400000000 0.0000000000 317.7600000000|execution|READY|Xload|37|
    Zact|0|Zload|13|S1speed|269|S1load|67
134: 2019-10-10T23:26:51.475Z|message||ABRIR PORTA DO OPERADOR
135: 2019-10-10T23:26:51.475Z|tool_id|100|line|0|block|O0777(USP-MITCONNECT)|
    path_feedrate|1|execution|STOPPED|f_command|0|Xload|0|Zload|0|S1speed|0|
    S1load|0
136: 2019-10-10T23:26:52.848Z|path_feedrate|0
137: 2019-10-10T23:26:56.577Z|path_feedrate|1
138: 2019-10-10T23:26:57.045Z|path_feedrate|0

```