

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DEPARTAMENTO
ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSOS DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CLAUDIO SOARES

**ANÁLISE DE CARGA EM ROBO KUKA KR60
PARA LINHA DE PRENSA ROBOTIZADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2014

CLAUDIO SOARES

**ANÁLISE DE CARGA EM ROBO KUKA KR60
PARA LINHA DE PRENSA ROBOTIZADA**

Monografia de Especialização,
apresentado ao Curso de
Especialização em Automação
Industrial, do Departamento Acadêmico
de Eletrônica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR, como requisito parcial para
obtenção do título de Especialista.

Prof. Dr. Carlos Raimundo Erig Lima

CURITIBA
2014

Dedico este trabalho ao meu Pai Pedro *in memoriam* e a minha Mãe Iraci. E de modo especial a Joelma, minha esposa e ao meu filho Matheus por todo apoio incondicional que recebi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo Dom da vida e a oportunidade de poder trilhar meu caminho. Aos professores por compartilhar o conhecimento contribuindo para minha formação, principalmente ao orientador, Dr. Carlos Erig, pelo apoio e dedicação. Sem menos importância, agradeço aos meus familiares pela motivação confiança, que me ajudaram na realização deste trabalho.

RESUMO

SOARES, Claudio. **Análise de Carga em Robô kuka kr60 Para Linha de Prensa Robotizada.** 2014. 56 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Esta pesquisa de campo com caso de estudo pretende analisar o esforço de trabalho em um robô cuja tarefa baseia-se na movimentação de peças automotivas estampadas em uma linha de prensas até a esteira de saída. Este equipamento tem apresentado uma frequência de falha mecânica mais elevada do que outros robôs usados no mesmo processo, mesmo funcionando com uma carga estática mais baixa em comparação com os outros.

O resultado do projeto tem a intenção de identificar o ponto crítico no processo e as causas de falha.

Palavras chave: Robô Industrial. Capacidade de Carga. Carga Estática. Cadência de Produção.

ABSTRACT

SOARES, Claudio. **Analysis of Load in the Kuka Robot kr60 for Press Line with Robot Automation**. 2014. 56 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

This field research with a case study want to analyze the work strain in a robot, used to transfer automotive parts from a stamping press line to the end of line conveyor. This equipment has presented a higher mechanical fault frequency than other robots used in the same process, even working with a lower static load compared to others.

The project result intends to identify the critical point in the process and the failure root cause.

Keywords: Industrial Robot. Load Capacity. Static Load. Cadence of Production

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema Linha de Prensas Robotizada.....	12
Figura 3 – Exemplo de Robô Paralelo.....	23
Figura 4 – Exemplo de Robô Cartesiano	24
Figura 5 – Exemplo de Robô Esférico.....	24
Figura 6 – Exemplo de Robô Cilíndrico.....	24
Figura 7 – Exemplo de Robô SCARA	25
Figura 8 – Exemplo de Robô Articulado.....	25
Figura 9 – Robô Kuka Modelo KR60P/2	27
Figura 10 – Grau de liberdade de eixo	27
Figura 11 – Volume de Trabalho do Robô Modelo KR 60P/2	28
Figura 12 – Componentes do robô.....	29
Figura 13 – Vista Explodida dos Dispositivos Acoplados ao Robô.....	30
Figura 14 – Posição Carga Suplementar no Robô	31
Figura 15 – Robô Carregado.....	32
Figura 16 – Modelo Travessa em “E” (1,3) e “T” (2) AMG.....	33
Figura 17 – Definição de TOOL.....	35
Figura 18 – Relação de Carga e Distância.....	38
Figura 19 – Centro de Gravidade da Carga do Robô.....	39
Figura 20 – Sobrecarga no Robô Durante Trajetória	41
Figura 21 – Orientação Centro de Massa	49
Figura 22 – Análise de Carga com Robô KR60-3	50
Figura 23 – Análise de Carga com Robô KR100.....	50
Figura 24 – Diagrama de Carga com Robô KR100.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Robôs	22
Tabela 2 – Características do Robô R6.	28
Tabela 3 – Característica dos Dispositivos Acoplados ao Robô	31
Tabela 4 – Dados Gerais do Processo.....	35
Tabela 5 – Corrente de Trabalho	41
Tabela 6 – Dados dos Servomotores	41
Tabela 7 – Configuração Registro do Osciloscópio.....	43
Tabela 8 – Carga Eixos do Robô	48
Tabela 9 – Dados de Carga	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Vendas Mundiais de Robôs Industriais 2003 – 2013.....	21
Gráfico 2 – Pesos de Peças Movimentadas em Quilogramas.....	34
Gráfico 3 – Carga Total Movimentada em Quilogramas	37
Gráfico 4 – Distância Centro da Peça ao Manípulo.....	37
Gráfico 5 – Torque Gerado Por Peça em Nm.	38
Gráfico 6 – Cadência do Processo.....	39
Gráfico 7 – Depreciação por Produto	40
Gráfico 8 – Monitoramento de Corrente em Todos os Eixos.....	44
Gráfico 9 – Monitoramento de Corrente Eixo A1	45
Gráfico 10 – Monitoramento de Corrente Eixo A2.....	45
Gráfico 11 – Monitoramento de Corrente Eixo A3.....	46
Gráfico 12 – Monitoramento de Corrente Eixo A4.....	46
Gráfico 13 – Monitoramento de Corrente Eixo A5.....	47
Gráfico 14 – Monitoramento de Corrente Eixo A6.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

A1 (...)	A6	Definição padrão nos robôs kuka para identificação de eixos.
AMG		Indústria fornecedora de dispositivos de garra para robôs.
IFR		International Federation of Robotics.
ISO		Organização Internacional para Padronização (International Organization for Standardization)
KCP		Kuka Control Panel (Painel de Controle e Programação do Robô).
KR60		Modelo do robô com capacidade de carga de 60 quilogramas.
KRC1		Modelo da Controladora do Robô.
NR		Norma Regulamentadora
RMC		Região Metropolitana de Curitiba.
SCARA		Selective Compliance Assembly Robot Arm (Braço Robótico para Montagem com complacência “flexibilidade” Seletiva).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	13
1.3. PROBLEMA	14
1.4. OBJETIVOS	15
1.4.1. Objetivo Geral	15
1.4.2. Objetivos Específicos	16
1.5. JUSTIFICATIVA	16
1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.7. DESCRIÇÃO DA PESQUISA.....	17
1.8. EMBASAMENTO TEÓRICO	18
1.9. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. ESTADO DA ARTE	19
2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ROBÓTICA	19
2.2. ROBÔS MANIPULADORES INDUSTRIAIS.....	20
2.3. CLASSIFICAÇÃO DE ROBÔS MANIPULADORES INDUSTRIAIS	22
2.3.1 Robô Paralelo.....	22
2.3.2 Robô Série	23
2.3.3 Robô Cartesiano	23
2.3.4 Robô Esférico - Cilíndrico.....	24
2.3.5 Robô SCARA	25
2.3.6 Robô Articulado.....	25
3. ESTUDO DE CASO DO ROBÔ KUKA KR60	27
3.1 CARACTERÍSTICAS DO ROBÔ KR 60.....	28
3.2 DISPOSITIVOS AUXILIARES NO ROBÔ	29
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
4.2 ANÁLISE DINÂMICA.....	40
4.2.1 Análise por Osciloscópio	42
4.3 CÁLCULO DE CARGA PELO ROBÔ.....	48
5. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Muito se tem discutido sobre a aparente substituição de mão de obra por robôs. Na Figura 1, pode-se verificar que em um processo de estampagem de chapas, em linha de prensas automatizada, necessita-se apenas de uma pessoa para supervisão do processo e demais operadores para acondicionamento das peças prontas, na saída das esteiras. Isto é resultado da evolução na indústria e dos direitos humanos, onde, respectivamente se tem o mercado solicitando alto volume de produção, fomentando aumento de tecnologias no processo e a necessidade de implantação de normas de segurança a fim de proteger a integridade do trabalhador durante o processo, como a norma NR12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.

Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos (BRASIL, 2014, p1)

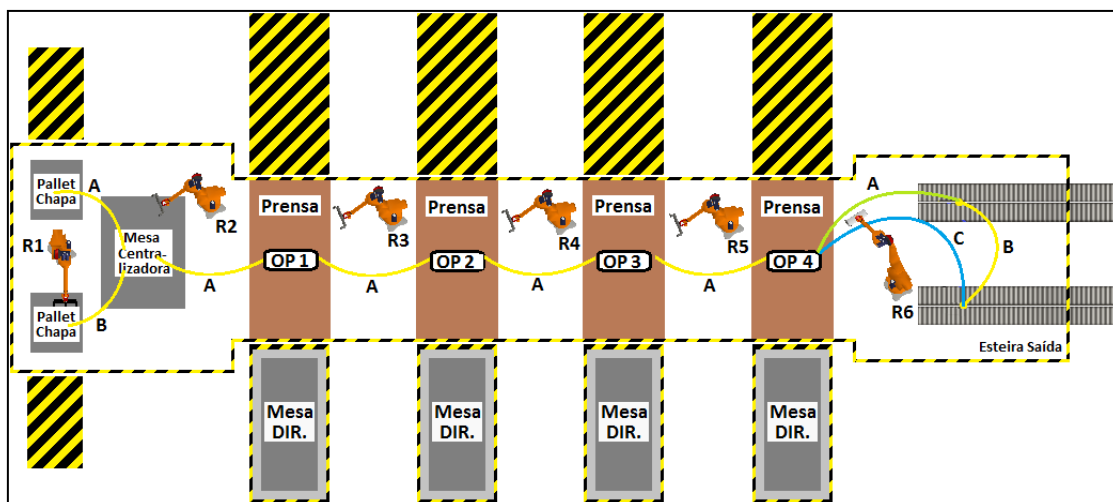


Figura 1 – Esquema Linha de Prensas Robotizada.
Fonte: Autoria Própria.

A instalação de um robô em um processo qualquer, requer que se treine o operador para que este agora passe a supervisionar o trabalho. Implicando em não uma demissão, mas muitas vezes promoção. Uma vez que o funcionário será capacitado e executará tarefas mais complexas (FERNANDEZ et al., 2012). Mas esta não é uma tarefa fácil. Segundo Fernandez, a chave é a

palavra “integração” e deve ser um processo pensado e avaliado de diferentes esferas: técnico, econômico, psicológico e social.

1.1 TEMA

Uma difícil tarefa para indústria nos dias de hoje é ser flexível a ponto de personalizar seu produto e entregar um único item para cada cliente (PILLER, 2008). Contudo, para cada cliente que possui uma vontade e necessidade singular momentânea, podem ser encontrados traços de semelhanças entre outras pessoas, desenvolvendo não um único produto, mas algo que atenda um grupo específico de clientes (PILLER, 2008). Deste modo torna-se viável para a indústria, poder oferecer produtos personalizados em larga escala, utilizando sistemas flexíveis capazes de se adaptar aos novos projetos.

Esta realidade deixou de ser um luxo e passa para a esfera da necessidade à sobrevivência. Não basta oferecer produtos customizados e exclusivos, é necessário ter volume de produção e preços atraentes (PILLER, 2008).

Deste modo, esta proposta de estudos vem ao encontro desta realidade, com: volume de produção, *mix* diversificado, lucro e redução de custos. Trata-se de uma análise de um estudo de caso para movimentação de carga em um robô kuka kR60 com manípulo de 60 quilogramas em uma linha de prensas robotizada. A Figura 1 apresenta, de forma simplificada, a disposição do *layout* onde o elemento de pesquisa se aplica ao robô R6, localizado entre a última prensa, Operação 4 (OP 4), e as esteiras de saída.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este caso de estudo aplica-se exclusivamente a uma grande empresa fornecedora de peças para indústria automobilística, instalada no distrito industrial de São José dos Pinhais, Região Metropolitana de Curitiba (RMC). A região que antes era predominantemente rural, em poucos anos, se vê em torno de plantas industriais estruturadas (TAVARES, 2006). Apesar de

trabalhos e publicações apontarem para o possível fomento da pobreza baseado no modelo de produção de Henry Ford, a região ganhou reestruturação urbana e qualidade de vida (TAVARES, 2006).

São José dos Pinhais é cortado pelas rodovias federais BR277 e BR376, além da importante ligação entre BR116 e BR376, conhecida como contorno leste. A cidade ainda conta com o principal terminal aeroportuário do Paraná, o Aeroporto Internacional Afonso Pena. Além disso, pouco mais de 70 km separam a cidade do porto de Paranaguá. Essa é uma região com logística estratégica, principalmente para escoamento da produção. Embora com muita polêmica na criação do distrito industrial, principalmente com respeito às normas ambientais (TAVARES, 2006).

É neste cenário que se apresenta a pesquisa de campo, com caso de estudo para analisar o esforço de trabalho de um robô. Cujas tarefas baseiam-se na movimentação de peças automotivas estampadas em uma linha de prensas até a esteira de saída.

1.3. PROBLEMA

Este projeto tem o propósito de apresentar uma pesquisa de campo com caso de estudo para um robô de uma empresa de estampagem de peças automotivas, localizada em São José dos Pinhais, fornecedora para montadoras de automóveis.

Contando com quatro linhas de prensas, sendo: uma linha manual, duas linhas robotizadas, responsáveis pela transformação da matéria prima agregando valor ao produto e uma linha automatizada de corte de bobinas de aço para abastecimento das três outras linhas. Ao se tratar de uma fornecedora de peças para a montadora, esta empresa não faz parte da linha de produção propriamente dita. Deste modo, prazos de curta duração não necessariamente implicam em não atender os clientes quanto aos prazos e volume solicitados. Porém, há um grande prejuízo haja vista que o setor também fornece seus produtos para várias montadoras, inclusive com exportação de produtos para mais quatro países.

A delimitação do trabalho dá-se apenas ao estudo do último robô de uma das linhas, intitulado neste trabalho por robô R6. Ele é responsável pela movimentação de peças estampadas da prensa OP 4 até a esteira de saída. Apesar de este robô movimentar apenas peças prontas, qualquer pane neste equipamento resulta em parada de linha.

Ao longo do tempo, vem sendo notado uma grande depreciação no equipamento em virtude do esforço excessivo empregado na movimentação de peças. Observa-se que em alguns casos, há ocorrência de alarme no equipamento por sobrecarga em um dos eixos, gerando micro paradas e/ou trancos, durante a execução da trajetória de trabalho, sem que o robô pare por completo.

Somando necessidade de atender ao mix e ao volume de produção, dimensão complexa e vultosa de peças, peso da garra e de dispositivos de fixação, aliada à velocidade de trabalho do robô, surge uma componente de carga dinâmica com potencial de risco à degradação do equipamento.

Esta degradação é notada por quebras de dispositivos como manípulos e servos-motores, parando a linha e impactando diretamente a produção.

1.4. OBJETIVOS

Esta seção explana a proposta de estudo de caso, apresentada neste trabalho, de forma mais clara, com o objetivo geral e trazendo mais cinco objetivos específicos.

1.4.1. Objetivo Geral

Analisar o esforço de carga do robô R6, modelo kuka kR60P/2 durante movimentação de peças estampadas em linha de prensas robotizada, propondo soluções aos desvios encontrados.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar as características do robô;
- Identificar as características das peças transportadas no processo;
- Analisar o esforço dos eixos do robô durante realização de trajetória de trabalho por osciloscópio interno disponibilizado no equipamento;
- Analisar o gráfico de corrente máxima dos eixos durante movimentação;
- Analisar os requisitos do robô em relação às necessidades do processo;

1.5. JUSTIFICATIVA

A linha de prensas, foco do trabalho, é composta por seis robôs com mesma importância para o processo. Contudo o instrumento de pesquisa se concentra no equipamento que movimenta a menor carga, porém com a trajetória mais longa e complexa.

Uma análise de carga no robô R6 se faz necessária para encontrar o equilíbrio entre esforço exigido do equipamento e produção solicitada, a fim de: reduzir o número de paradas por falha de componentes, melhorando o processo da planta industrial.

O produto final visa a redução de custo com gasto de manutenção, troca de componentes e principalmente lucro e aumento de produtividade por maior disponibilidade de equipamento.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho será contemplada uma análise de carga em um robô kuka kR60P/2 com manípulo de 60 quilogramas submetido à movimentação de peças em uma linha de prensas robotizada.

Segundo Gil (2010), a pesquisa pode ser definida como procedimento racional e sistemático com o objetivo de oferecer respostas mediante utilização de métodos, técnicas e/ou procedimentos científicos. Deste modo, pode-se classificar este trabalho como atividade aplicada e qualitativa, tratando-se de um caso de estudo de um equipamento inserido em um ambiente com características únicas. Com a possibilidade de desenvolver até quatro trajetórias diferentes para cada produto ao passo em que os demais robôs possuem apenas uma. Deste modo o intuito é de propor uma solução para que o processo se comporte “de maneira mais eficiente ou eficaz” (GIL, 2010).

Neste trabalho não serão disponibilizados os tempos de falha do robô R6, tampouco os gastos envolvidos neste processo. Quanto à coleta de informações, serão consultados e verificados os diagnósticos de falha apresentado pelo próprio equipamento, bem como a análise dos gráficos de esforço por osciloscópio interno disponibilizado pelo próprio equipamento. Consulta a livros, manuais e *site* do fabricante.

Serão adotadas, também, as ferramentas disponibilizadas pelo robô, acessíveis pelo KCP para análise comportamental instantânea do robô KUKA (2014). Este é capaz de fornecer uma série de informações e *status* em tempo real, durante realização de trabalho. Deste modo, além de programar o equipamento, com o KCP tem-se acesso aos diagnósticos de falhas e alarmes, além de curva de carga dos eixos do robô durante realização de trabalho. Outro recurso que será utilizado será o programa *Kuka.Load v3.2 e v5.0* disponibilizados gratuitamente para *download* pelo site da kuka, que apresenta, de modo genérico, o comportamento do robô diante de uma carga predefinida, informando graficamente o resultado e análises de carga do robô (KUKA, 2014).

1.7. DESCRIÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa é predominante em campo, explicativa e de cunho participativo, estabelecendo relações entre variáveis e características fundamentais no processo, identificando fatores contribuintes para degradação acentuada no equipamento (GIL, 2010).

1.8. EMBASAMENTO TEÓRICO

Em relação à evolução histórica da robótica, foram utilizados os trabalhos de Latxague (2013), Netton (2008), Aristóteles (1985) e Nadarajan (2007). Pires (2002) conclui e resume a colaboração histórica na evolução do tempo. Por fim a norma ISO 8373:2012 e a Federação Internacional de Robótica (IFR, 2014) definem a robótica para os dias de hoje.

Quanto à classificação e divisão por estrutura de cadeia e aplicação, foram pesquisados os trabalhos de Riascos, (2010), Xiao (2014) e a Federação Internacional de Robótica (IFR, 2014).

1.9. ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 - Introdução: É apresentado o tema, as delimitações da pesquisa, o problema e a premissa, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos e a descrição da pesquisa, bem como os autores aplicados no embasamento teórico.

Capítulo 2 – Estado da Arte: É abordada a evolução histórica da robótica. Definição e tipos mais comuns de robôs industriais, classificação geral dos manipuladores, focando área de trabalho.

Capítulo 3 – São apresentadas as características do robô R6, bem como sua instalação. Dispositivos necessários à movimentação de peças, geometria e características da travessa, responsável pelo acoplamento da interface da garra com o robô, além da indicação de carga suplementar no dispositivo.

Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados: É analisado o estudo de caso propriamente dito, apresentando dados obtidos no processo e comparando com valores de referência do equipamento dividido em duas etapas: Análise estatística dos dados do processo e comportamento dinâmico do robô.

Capítulo 5 – Conclusão: É apresentada a conclusão acerca das análises obtidas no capítulo anterior e lançado proposta para estudos futuros.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo contempla uma breve evolução histórica da robótica, apresentando as principais contribuições para a área, bem como a exemplificação de alguns tipos mais comuns de robôs industriais. A seguir, será apresentada uma classificação geral dos manipuladores, voltada para os robôs fixos com cadeia seriada aberta e a definição de robô com base nas contribuições e evolução históricas, além da ISO-8373.

Por fim, a conclusão da definição específica para o estudo de caso proposto: Robô com base fixa de estrutura cinemática em série com juntas articuladas, aplicado para movimentação de peças estampadas em linha de prensa robotizada (ISO, 2014)

2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ROBÓTICA

A robótica esta presente em nosso meio de várias formas e cada vez mais difundido: Equipamentos cirúrgicos e de pesquisa, robôs humanoides, industriais, brinquedos, eletrodomésticos, dispositivos de busca na web entre outros (LATXAGUE, 2013). Podendo se apresentar de forma material ou um software com características de inteligência artificial (LATXAGUE, 2013).

Porém não é algo recente, a história da robótica pode ser confundida também com a evolução do conhecimento (NETTON, 2008). O primeiro conceito de automação é de três séculos antes de Cristo por um dos mais importantes filósofos e teóricos da história, Aristóteles e embora já se tivesse um conceito de automação, os mecanismos construídos eram chamados de autômatos (NETTON, 2008).

Em 1206 Al-Jazari revolucionou a mecânica com a publicação da obra "*Kitab fi ma rifat al-hiyal al-handsiyya*" (Livro de Dispositivos Engenhosos de Mecânica). Esta publicação apresenta um marco para engenharia onde foi proposta uma definição para "automação islâmica" como a submissão

comportamental do equipamento, facilmente interpretado como a programação de um dispositivo e/ou equipamento (NADARAJAN, 2007).

Leonardo Da Vinci descobriu que a visão é uma ferramenta fundamental para busca do conhecimento dito que um de seus lemas é *Saper Vedere* (PIRES, 2002). Este renascentista percebeu a importância de se ter componentes com medidas precisas para construção de seus inventos e ainda em seus estudos preocupa-se com uma fonte de energia inesgotável para dispositivos (PIRES, 2002).

Por fim temos a colaboração de Nicola Tesla, que propôs em sua obra *“My Inventions: Autobiography of Nicola Tesla”*, que o dispositivo pudesse ser capaz de realizar tarefas por si só ou por intermédio de um operador, que no caso seria o cérebro (PIRES, 2002).

Em 1854, George Boole propôs o sistema numérico binário, conhecida como álgebra booleana, abrindo caminhos para a computação que temos hoje (LATXAGUE, 2013).

O termo robô significa trabalho escravo e foi utilizado em 1920 por um escritor dramaturgo tcheco, Karel Capek, durante a apresentação de uma peça de ficção científica. Isaac Asimov publica *“Eu Robô”* e propõem as três leis da robótica, por ordem de importância, onde um robô deve proteger os seres humanos; receber ordens de humanos; e se proteger a não ser que uma regra entre em conflito com outra de maior importância. (LATXAGUE, 2013)

2.2. ROBÔS MANIPULADORES INDUSTRIAIS

J. Norberto Pires define de forma clara o que é um robô utilizando elementos históricos: Dos Gregos e dos Árabes a ideia de: “mecanismos engenhosos”. De Leonardo da Vinci, “precisão” e “fonte permanente de energia” e por fim a definição de Tesla com ideia de “inteligência”. “a robótica é uma ciência de mecanismos engenhosos genéricos, de precisão, movidos por uma fonte permanente de energia e flexíveis” (PIRES, 2002).

Definição de robô conforme norma ISO 8373:2012 (ISO, 2014)

- Um controlador automático, reprogramável, manipulador multiuso programável em dois ou mais eixos, que podem ser tanto fixos no lugar ou móvel para uso em aplicações de automação industrial.
- Reprogramável: cujos movimentos programados ou funções auxiliares podem ser alterados sem alterações físicas;
- Multiuso: capaz de ser adaptado para uma aplicação diferente, com alterações físicas;
- Alterações físicas: alteração de estrutura mecânica ou sistema de controle, exceto para mudanças de dispositivos de armazenamento de dados, ROMs, etc
- Eixos: direção usada para especificar o movimento do robô em modo linear ou rotativo

Graças aos componentes e peças produzidos com elevada precisão, a evolução dos computadores, da eletrônica, fontes de energia, conceitos de mecânica, sensores, atuadores,... os robôs industriais tomaram forma (FERNANDES, 2012)

George Devol e Joseph Engelbergem apresentaram em 1959 o primeiro robô industrial o *Unimation* e dois anos mais tarde a GM o instala na sua linha de produção para manipulação de peças quentes retiradas de um processo de fundição (IFR, 2014). Desde então se desencadeou uma revolução na indústria de processos principalmente com a implantação de novos dispositivos e tecnologias, consolidando como necessários os manipuladores robóticos, a fim de se obter flexibilidade e volume de produção (IFR, 2014).

Em Setembro de 2013, Shinsuke Sakakibara, presidente da Federação Internacional de Robótica, IFR, comemora os bons resultados de vendas durante os últimos anos conforme Gráfico 1. A previsão é otimista e no período de 2014 a 2016, estudos apontam para aumento médio de 6% ao ano, podendo superar o volume de vendas em 190 mil unidades (IFR, 2014).

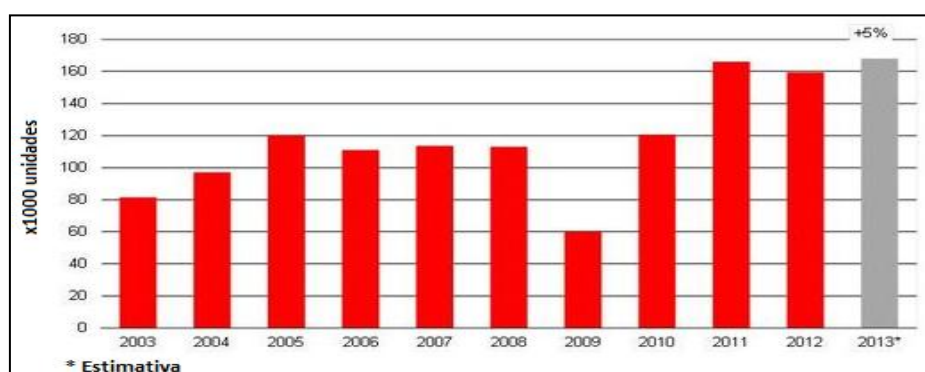


Gráfico 1 – Vendas Mundiais de Robôs Industriais 2003 – 2013

Fonte: Departamento de estatísticas da IFR

2.3. Classificação de Robôs Manipuladores Industriais

A literatura apresenta várias maneiras de se classificar os robôs industriais. Podendo variar de acordo com a forma, tipo de atividade, geometria, entre outros, conforme suas particularidades (TARTARI, 2006). Riascos apresenta uma classificação, de modo genérico, Tabela 1, que pode ser interpretada de várias maneiras.

Tabela 1 – Classificação de Robôs
Fonte: Riascos, 2010

Sistema de Controle	Mobilidade da Base	Estrutura Cinemática	Espaço de Trabalho
Equipamentos Teleoperado	Veículos Teleoperados		
	Manipuladores Teleoperados		
Robôs	Móveis	Aquático	Submarinos Marinho
		Aéreo	
		Terrestre	Pernas Rodas
	Fixos	Paralelos	3 a 6 Graus de Liberdade (GdL)
		Série	Cartesiano Cilíndrico Esférico SCARA Articulado

Como a proposta de trabalho enfatiza um robô industrial com base fixa, serão apresentados apenas os modelos que se enquadram neste perfil, exemplificando, robôs com tipos de cadeia em paralelo e série.

2.3.1 Robô Paralelo

Possuem várias cadeias cinemáticas de forma fechada. Com braços prismáticos concorrentes ao longo do eixo ou com rotação nas juntas, conforme ilustrado pela Figura 2. Vantagem é a alta capacidade de carga e exatidão de movimentos (XIAO, 2014).

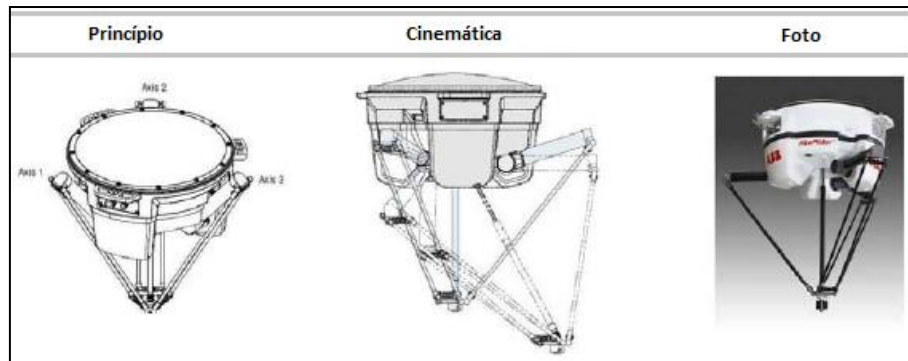


Figura 2 – Exemplo de Robô Paralelo
Fonte: IRF (2014)

2.3.2 Robô Série

É o tipo mais comum de robô, possui cadeia cinemática aberta e capacidade de carga inferior ao paralelo. Porém, hoje existem vários robôs com cadeia em série que suportam mais de uma tonelada. Exemplo disso é a Kuka com sua linha de robôs para trabalho pesado como o KR 1000 1300 TITAN PA, com capacidade de movimentar 1300 quilogramas e alcance de 3202 milímetros (KUKA, 2014). Os robôs com cadeia cinemática em série, são encontrados comumente em cinco variações: cartesiano, esférico, cilíndrico, SCARA e articulado, onde sua maior vantagem é o volume de produção (XIAO, 2014). TARTARI (2006) apresenta também o tipo de robô seriado hiper-redundante, caracterizado como um modelo com vários graus de liberdade assemelhando-se a uma tromba. E modelos híbridos, com um uma extensão hiper-redundante substituindo o manípulo tradicional encontrado na maioria dos robôs industriais.

2.3.3 Robô Cartesiano

Conforme Figura 3, este equipamento possui braços com três juntas prismáticas e seus eixos são coincidentes ao sistema de coordenadas cartesiano. (IFR, 2014)

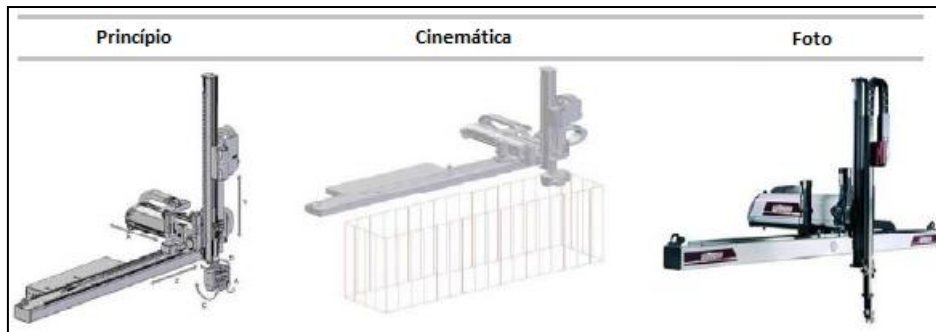


Figura 3 – Exemplo de Robô Cartesiano
 Fonte: IRF (2014)

2.3.4 Robô Esférico - Cilíndrico

Estes dois modelos de robôs, são muito similares, diferenciados respectivamente, apenas pela presença ou não de uma junta “J” capaz formar um ângulo \emptyset ente o braço e a coluna giratória, possibilitando que o dispositivo possa desenvolver uma trajetória esférica. Conforme Figura 4, que referencia o *Unimate*, primeiro robô industrial, construído no final da década de 50.

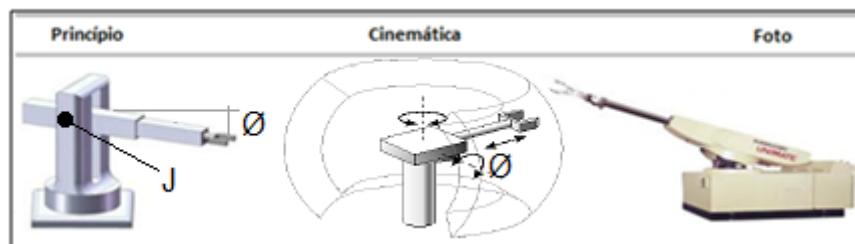


Figura 4 – Exemplo de Robô Esférico
 Fonte: IRF (2014)

Na ausência desta junta “J”, o volume de trabalho realizado será apenas em torno de um sistema de coordenadas cilíndricas (IFR, 2014), como mostra Figura 5. Este modelo se assemelha a um robô cartesiano, embora desenvolva uma trajetória circular.

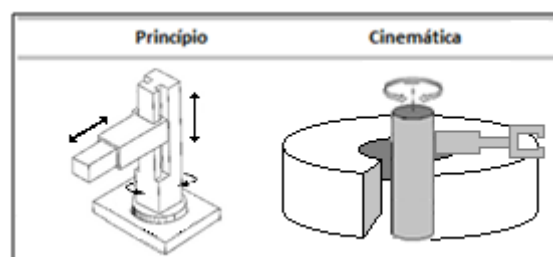


Figura 5 – Exemplo de Robô Cilíndrico
 Fonte: IRF (2014)

2.3.5 Robô SCARA

Robô com duas juntas rotatórias paralelas ou prismáticas proporcionando deslocamento no sentido longitudinal. (IFR, 2014). Este equipamento representado pela Figura 6, é utilizado em operações de montagens (*assembly*) e/ou ações de pegar e soltar peças (*pick-and-place*), favorecidas pelo deslocamento vertical no ultimo eixo (TARTARI, 2006).

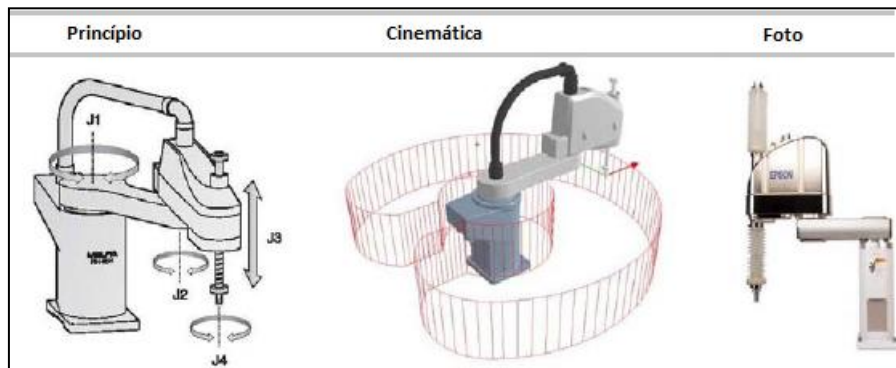


Figura 6 – Exemplo de Robô SCARA
Fonte: IRF (2014)

2.3.6 Robô Articulado

Característica de equipamento que possui as três últimas juntas rotativas. (IFR, 2014) Este modelo de robô é o mais comum utilizado na indústria automobilística, por conta da sua flexibilidade e volume de trabalho, conforme Figura 7, e está presente em todos os estágios de produção; pintura, montagem, movimentação de cargas e peças, operações de solda e dobra de chapas para fixação e de peças.

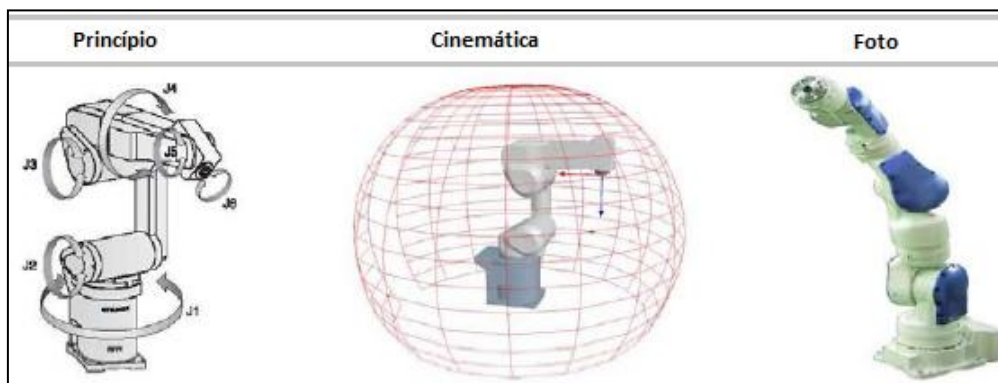


Figura 7 – Exemplo de Robô Articulado
Fonte: IRF (2014)

O elemento deste trabalho se aplica a este ultimo equipamento, especificado como: robô com base fixa de estrutura cinemática em série com juntas articuladas, aplicado para movimentação de peças estampadas em linha de prensa robotizada (ISO 8373).

3. ESTUDO DE CASO DO ROBÔ KUKA KR60

Com o intuito de propor uma melhor visão do processo, facilitando a compreensão da problemática proposta, neste capítulo é apresentado o ambiente físico e características do robô denominado neste trabalho por robô R6, de modelo KR60 fabricado pela Kuka Robotics.

O equipamento se encontra fixo no chão, montado sobre um pedestal, como representa a Figura 9, proporcionando uma melhor agilidade na movimentação de peças estampadas, uma vez que este manipulador está instalado entre uma prensa e duas esteiras de saídas, conforme esquematizado anteriormente na Figura 1. A representação do grau de liberdade nos eixos do robô R6 se dá pela Figura 8.



Figura 8 – Robô Kuka Modelo KR60P/2
Fonte: Adaptado de kuka (2014)

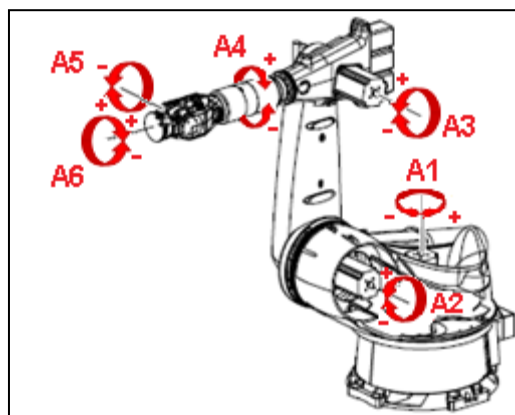


Figura 9 – Grau de liberdade de eixo
Fonte: Adaptado de kuka (2014)

3.1 Características do Robô KR 60

O robô utilizado na linha de prensas, intitulado neste trabalho de estudo de caso por robô R6, é classificado como equipamento de média carga (kuka, 2013) e tem suas características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do Robô R6.
Fonte: Adaptado de kuka (2013)

CARACTERÍSTICAS ROBÔ R6	
Peso	1540 kg
Número de Eixos	6
Alcance Máximo	3500 mm
Carga de Manípulo	60 kg
Carga Suplementar	30 kg
Ano de fabricação	2000
Modelo da Controladora	KRC1A
Modelo do Robô	KR60P/2
Repetibilidade	< ± 0.5mm
Volume de Trabalho	124 m ³

Contando com um alcance máximo de 3500 mm, este equipamento pode cobrir um volume de trabalho de aproximadamente 124m³, conforme Figura 10.

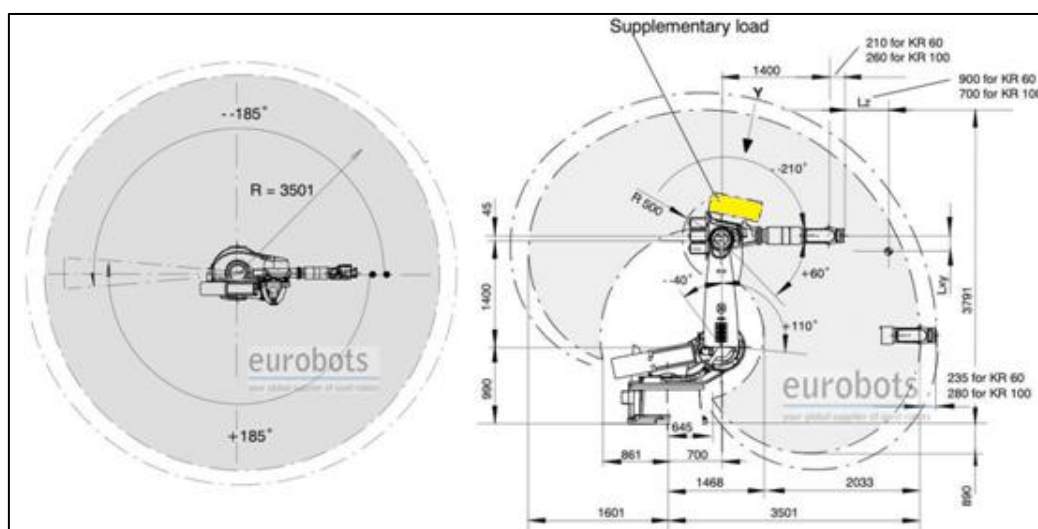


Figura 10 – Volume de Trabalho do Robô Modelo KR 60P/2
Fonte: kuka (2013)

A Figura 11 elenca os principais elementos presentes na maioria dos robôs industriais. Porém as ilustrações são referentes ao modelo de robô em estudo, que oferece as opções de cargas de 60 e 100 quilogramas.

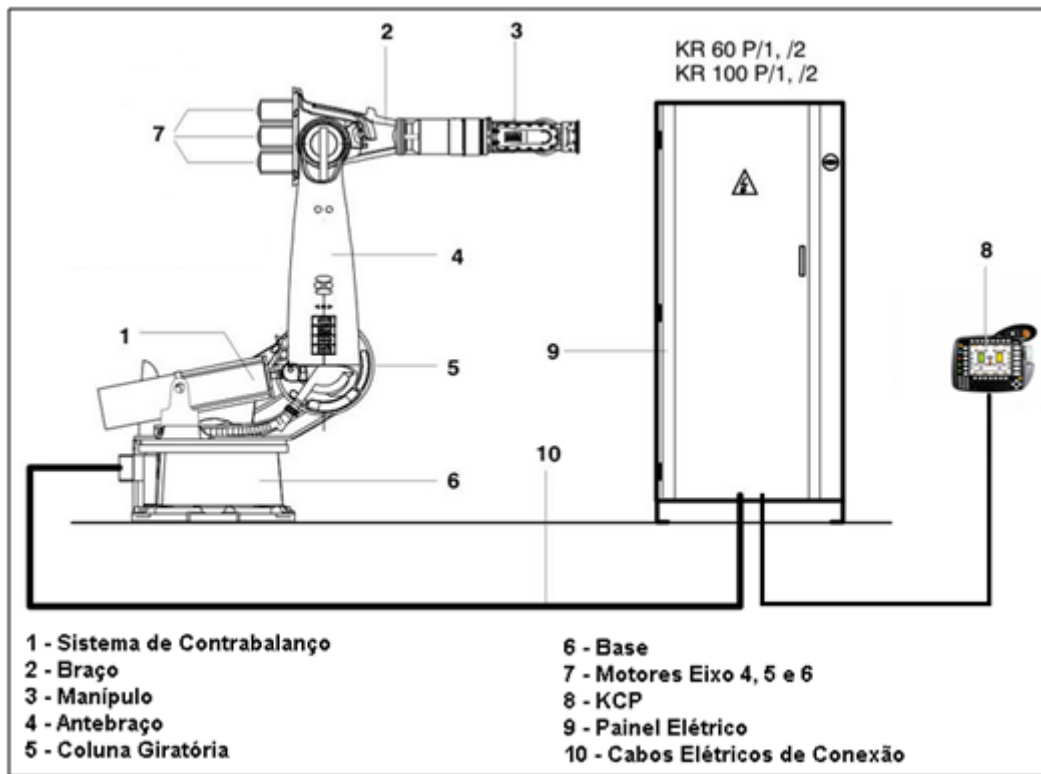


Figura 11 – Componentes do robô
Fonte: Adaptado de Kuka (2014)

3.2 Dispositivos Auxiliares no Robô

Na aquisição de um robô industrial, o equipamento novo necessitará de dispositivos que serão acoplados na extremidade do eixo A6, a fim de que seja possível a execução de uma tarefa em especial, seja ela um processo de solda, montagem de dispositivos, manipulação ou movimentação de carga, processos de pintura, entre outras.

Para que seja possível a movimentação de peças de grandes dimensões se faz necessário a instalação de uma travessa e três interfaces na ponta do manipulador, permitindo que se conecte mais de uma garra ou ferramenta ao mesmo tempo. Por conta de reduzir os riscos de colisão por montagem incorreta durante novos *set-ups*, a travessa recebe uma cor específica, auxiliando e orientando a posição correta da nova garra a ser

instalada. A Figura 12 apresenta maiores detalhes destes componentes. O item 1 representa as três interfaces responsáveis pelo acoplamento e trava da garra ao robô, este dispositivo possui um freio e uma trava que deverão ser acionados manualmente, prendendo a garra com segurança. O segundo item é a travessa em “E” ou o *poutre*, que é o dispositivo responsável pelo acoplamento das interfaces ao eixo A6 do robô. O esquadro de 90°, representado pelo item 3, é uma exceção ao processo, pois está presente apenas no robô R6 e tem a função de padronizar o modelo de travessa em “E” para todos os seis robôs da linha. Haja vista que para o depósito nas esteiras de saída de forma mais rápida e flexível, seria necessário a utilização de uma travessa em “E” com fixação na parte superior ao invés da posterior. O item 4 representa o manipulador do robô.

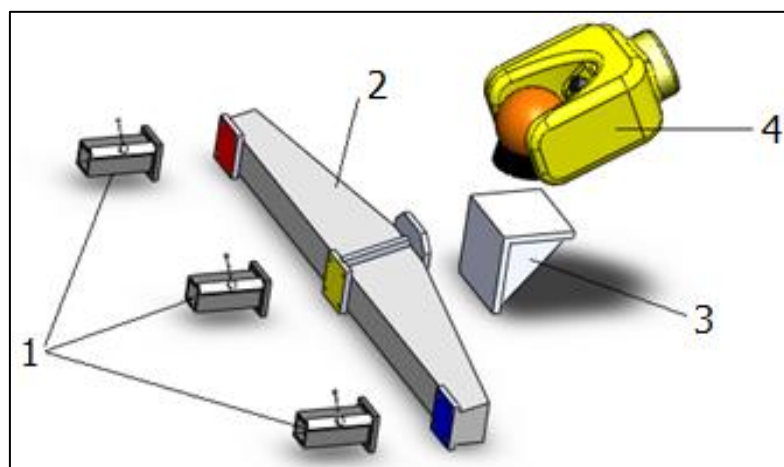


Figura 12 – Vista Explodida dos Dispositivos Acoplados ao Robô
Fonte: Autoria Própria

Estes dispositivos deverão estar instalados no robô para receber a ferramenta ou garra, que será utilizada no processo de movimentação de peças. Em muitos casos esta garra é conhecida como *Tool*. O peso inicial dos dispositivos mencionados deverá ser avaliado, pois impacta diretamente no desempenho do robô, como aumento de tempo de ciclo e redução da vida útil, especificamente para o manipulador.

Por padrão a Kuka (2013), define alguns pontos de instalação de carga complementar ao longo dos eixos A1, A2 e A3 do robô, como verificado na Figura 13. Esta carga contempla a instalação de mais alguns dispositivos necessários ao processo e para o robô objeto de estudos são compostos por:

um manômetro, três blocos de válvulas 2,2 vias, um conjunto de três válvulas de vácuo, uma caixa com um grupo de I/Os para interfacear com o processo e o suporte preso ao eixo A3 para acomodação destes componentes. Na Tabela 3, são apresentadas as características dos dispositivos, onde se verifica que o peso total do conjunto atinge 50% da carga útil do robô, além de 105% da carga suplementar.

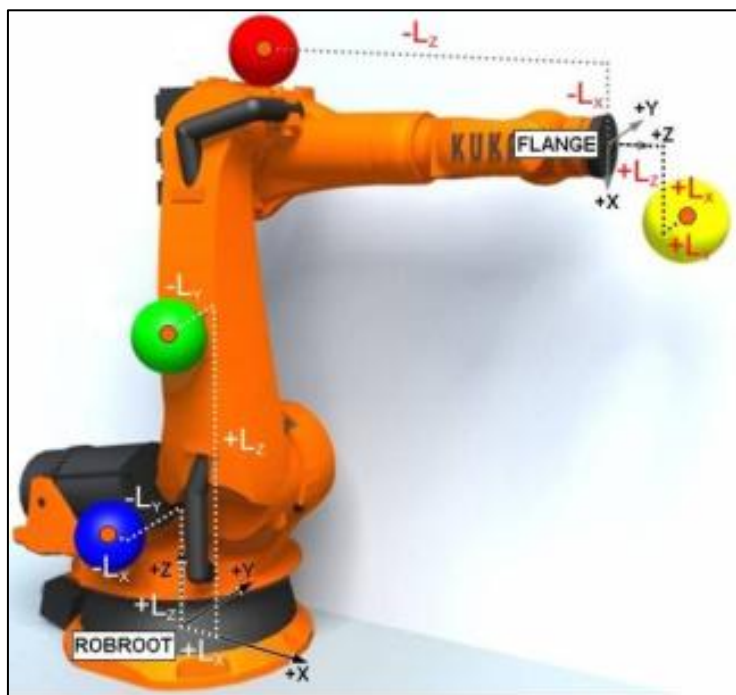


Figura 13 – Posição Carga Suplementar no Robô
Fonte: Software Kuka.Load 5.0

Para a realização das medições de massa, foi utilizada uma balança industrial com 200g de exatidão para a faixa de peso utilizada.

Tabela 3 – Característica dos Dispositivos Acoplados ao Robô
Fonte: Adaptado de Dados do Processo

EIXO A6	Dimensão (mm) L x A x P	Massa (kg)
Poutre	1555x140x215	14,4
Interface	70x70x200	(3x) 2,5
Esquadro	200x240x225	8,2
Total Eixo A6	1555x240x497,5	30,1
EIXO A3	Carga Suplementar	31,2
Carga Total Inicial do Robô		61,3

A carga e dimensão das peças movimentadas na linha de prensas solicita do robô um esforço com aplicação elevada de torque que pode ser verificado na Figura 14. A peça está sendo movimentada utilizando apenas uma garra na interface central. Neste caso, verifica-se que pelas dimensões do conjunto e o centro de gravidade do dispositivo como um todo está deslocado e afastado do eixo A6, aumentando a carga dinâmica do conjunto e consequentemente o esforço no manípulo. Logo, a carga estática total pode ser calculada pelo valor dos dispositivos de fixação, acrescido do peso da garra e da peça movimentada.

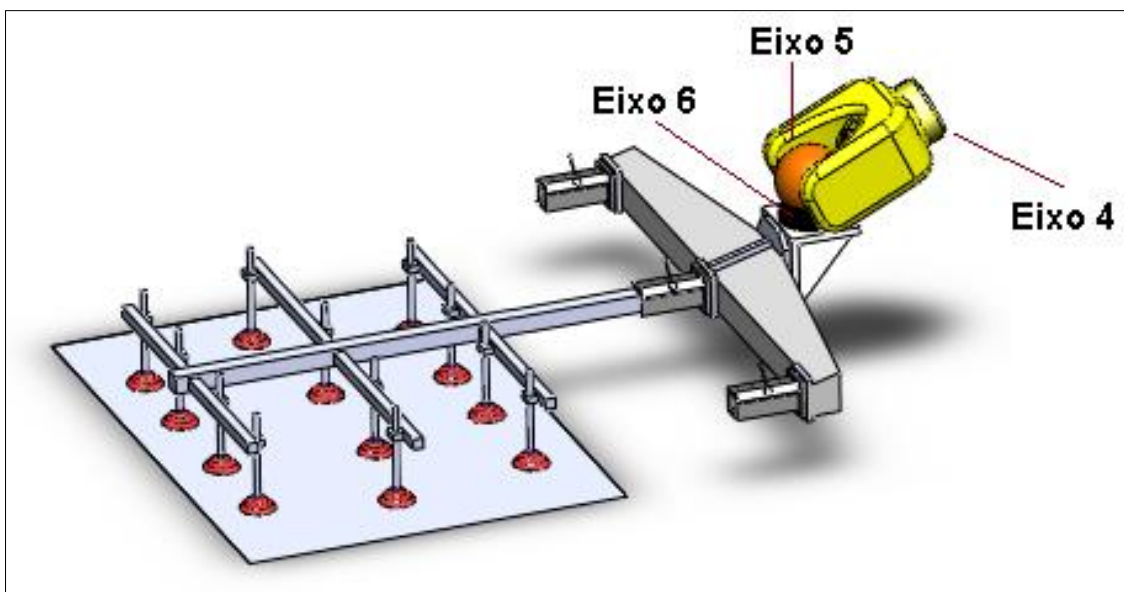


Figura 14 – Robô Carregado
Fonte: Autoria Própria

Para reduzir esta depreciação, existem no mercado outros tipos de dispositivos, com materiais mais leves como a fibra de carbono, porém o preço é bem superior ao do alumínio. Outro impactante é a própria geometria dos componentes que podem reduzir esta carga adicional, como verificado na Figura 15. Neste caso os modelos 2 e 3 apresentados pela AMG, não necessitam do esquadro de 90°, que faz a ligação entre o manípulo e a travessa ou *poutre*, reduzindo em pelo menos 8,2 quilogramas conforme Tabela 3.

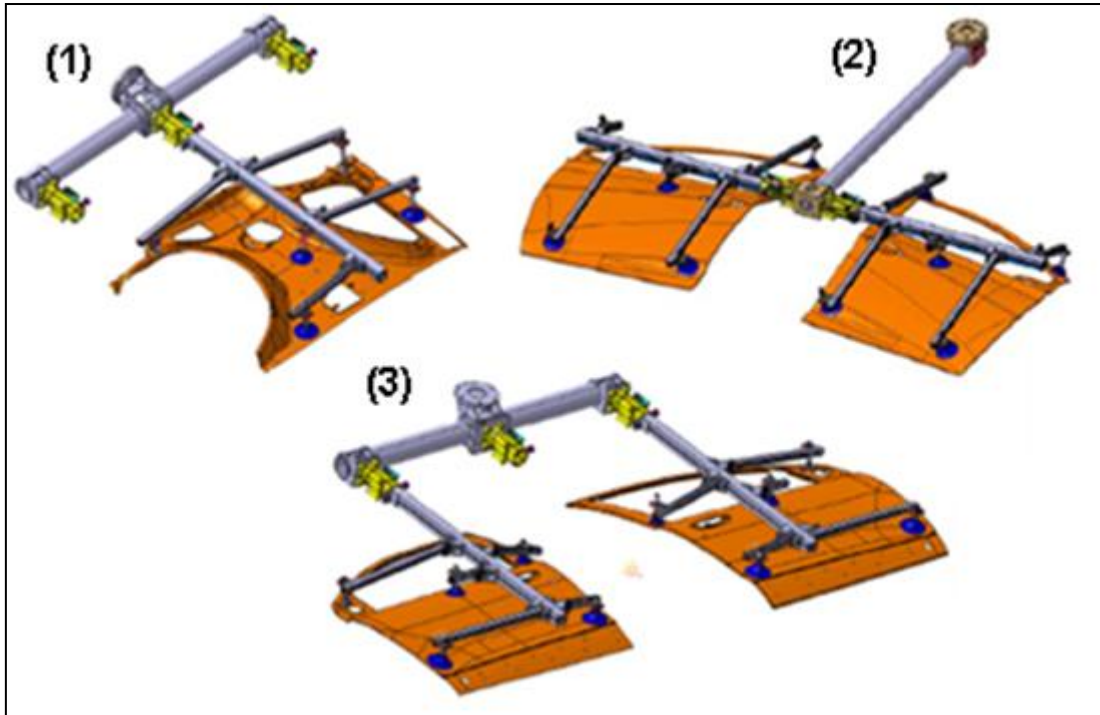


Figura 15 – Modelo Travessa em “E” (1,3) e “T” (2) AMG
Fonte: Catálogo: AMG Industries Moyens de Couplage

Embora não seja o intuito apresentar este tipo de informação no trabalho, a Figura 15 ilustra a geometria similar a das peças e das garras movimentadas pelo robô R6.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado, de modo comparativo, os resultados obtidos durante aquisição e análise estatística dos dados do processo. Bem como uma avaliação dinâmica da carga movimentada, com base no *feedback* de corrente fornecido pelo robô. A apresentação destes dados é essencial para entender a causa das falhas no equipamento.

4.1 Análise Estatística

Conforme o Gráfico 2, foram utilizados apenas os valores de massa e quantidade de peças produzidas por golpe da prensa. Dentre todos os produtos, o estudo englobou apenas 18 produtos diferentes. Estes foram selecionados, analisados e intitulados no trabalho por variedade de produto de “A” à “R”.

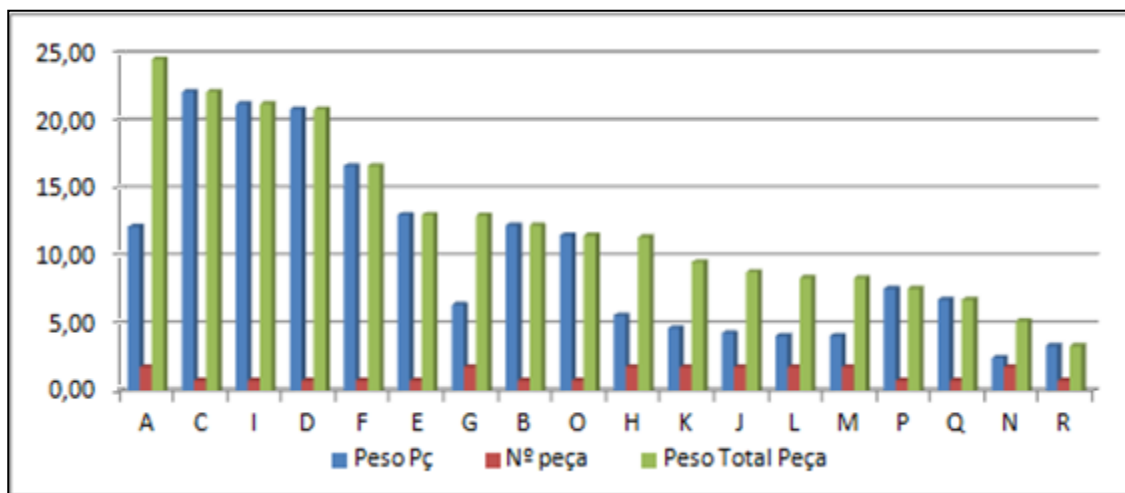


Gráfico 2 – Pesos de Peças Movimentadas em Quilogramas.

Fonte: Autoria Própria

Conforme o Gráfico 2, percebe-se que o mix contempla uma grande variação de peso para cada produto, superando 20 quilogramas entre as extremidades.

Porém, existem outros fatores que também afetam diretamente o desempenho do robô como: o tamanho das peças manipuladas; tempo de ciclo

ou cadência de produção; peso de garra; e principalmente a distância entre a peça movimentada e o acoplamento do eixo A6. Para o processo em análise, esta distância medida entre o final do manipulador e o centro da peça que é denominada TOOL e pode sofrer uma pequena variação para cada item do mix, uma vez que o robô nunca entra com o manipulador dentro da prensa e as peças na sua grande maioria ficam centradas na ferramenta de estampagem. A Figura 16 exemplifica esta definição utilizada no processo.

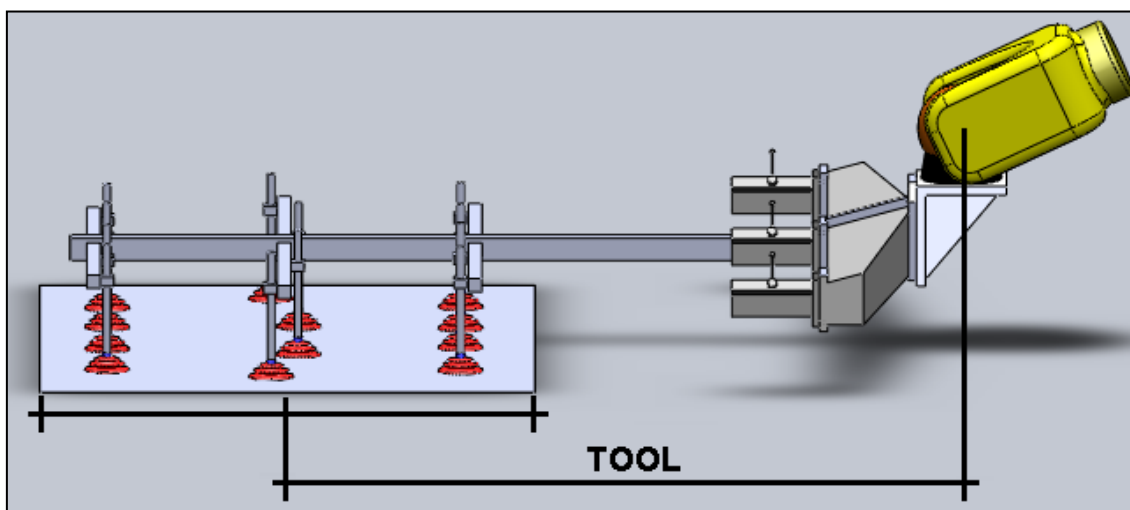


Figura 16 – Definição de TOOL
Fonte: Autoria Própria

De forma geral, a Tabela 4 apresenta os valores coletados durante o processo. Para os valores da quarta coluna (**Carga Total**), não é considerada a carga suplementar de 31,2 quilogramas afixada sobre o eixo A3. Apenas o peso dos dispositivos de fixação de garra na ponta do manipulador, conforme dados apresentados anteriormente na Tabela 3.

Tabela 4 – Dados Gerais do Processo
Fonte: Autoria Própria

Mix	Peso Unitário Peça	Qtd. PÇs	Peso Total Peças	Peso Garra	Peso Garra Peças	Carga Total	TOOL (mm)	Peças Produzidas Por Minuto
A	12,40	2	24,80	25,50	50,30	80,40	1350	5,8
B	12,50	1	12,50	21,00	33,50	63,60	1100	7,5
C	22,40	1	22,40	19,90	42,30	72,40	1270	8,1
D	21,10	1	21,10	19,00	40,10	70,20	1240	8,9
E	13,28	1	13,28	23,90	37,18	67,28	1340	5,0
F	16,90	1	16,90	19,90	36,80	66,90	1270	8,1

Mix	Peso Unitário Peça	Qtd. PÇs	Peso Total Peças	Peso Garra	Peso Garra Peças	Carga Total	TOOL (mm)	Peças Produzidas Por Minuto
G	6,62	2	13,24	23,50	36,74	66,84	1300	8,1
H	5,81	2	11,62	20,40	32,02	62,12	1350	6,0
I	21,50	1	21,50	19,00	40,50	70,60	1240	8,9
J	4,52	2	9,04	22,20	31,24	61,34	1150	6,0
K	4,89	2	9,78	21,00	30,78	60,88	1380	6,0
L	4,31	2	8,62	19,50	28,12	58,22	1300	6,0
M	4,30	2	8,60	19,40	28,00	58,10	1500	7,0
N	2,70	2	5,40	19,90	25,30	55,40	1250	7,5
O	11,75	1	11,75	11,40	23,15	53,25	1750	6,9
P	7,80	1	7,80	15,00	22,80	52,90	1210	8,7
Q	7,00	1	7,00	12,50	19,50	49,60	1200	8,6
R	3,57	1	3,57	9,30	12,87	42,97	1250	8,7

Para fins de interpretação de dados, a Tabela 4 foi dividida em três grupos de análise e classificados por nível de criticidade. Para o primeiro caso, foi analisado a carga total em que o robô é submetido e exibido o Gráfico 3, que apresenta uma discordância entre a carga máxima recomendada e a real movimentada, onde 61% dos produtos analisados excedem a carga estática do equipamento que é de 60 quilogramas.

Nesta primeira análise, o produto “A” requer maior atenção, uma vez que representa maior criticidade para o processo, somando uma carga de movimentação 34% superior à máxima preconizada pelo fabricante.

O Gráfico 3, classifica todos os produtos analisados conforme a carga movimentada. Observa-se que do item A ao K, há incidência de peso acima de 60 quilogramas, que é o valor nominal máximo do robô.

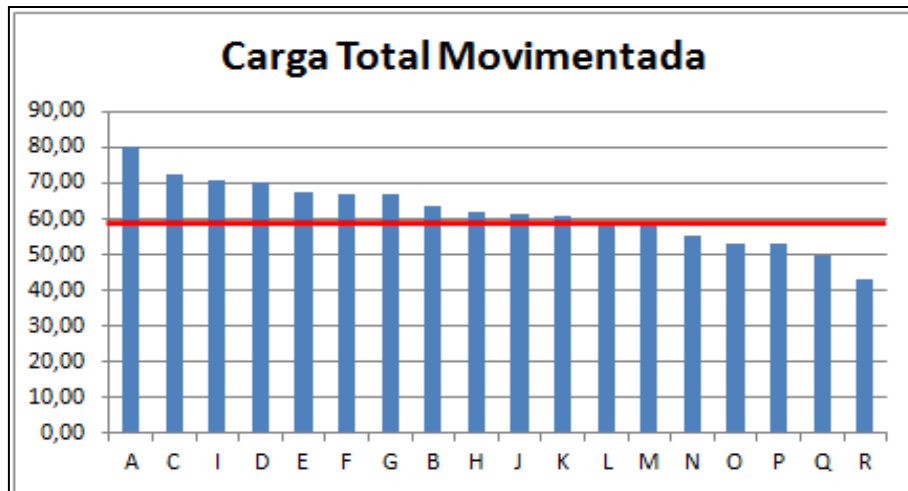


Gráfico 3 – Carga Total Movimentada em Quilogramas
 Fonte: Autoria Própria

O Gráfico 4 apresenta a distância entre o centro da peça até o manípulo. O produto “O” possui um deslocamento de 1750 milímetros do robô e uma carga total de movimentação de mais de 53 quilogramas, conforme dados apresentados na Tabela 4. Porém a peça movimentada na ponta da garra é de 11,75 quilogramas e o restante é dividido entre dispositivos de fixação, que somam 30 quilogramas, e o peso da garra com 11,4 quilogramas.

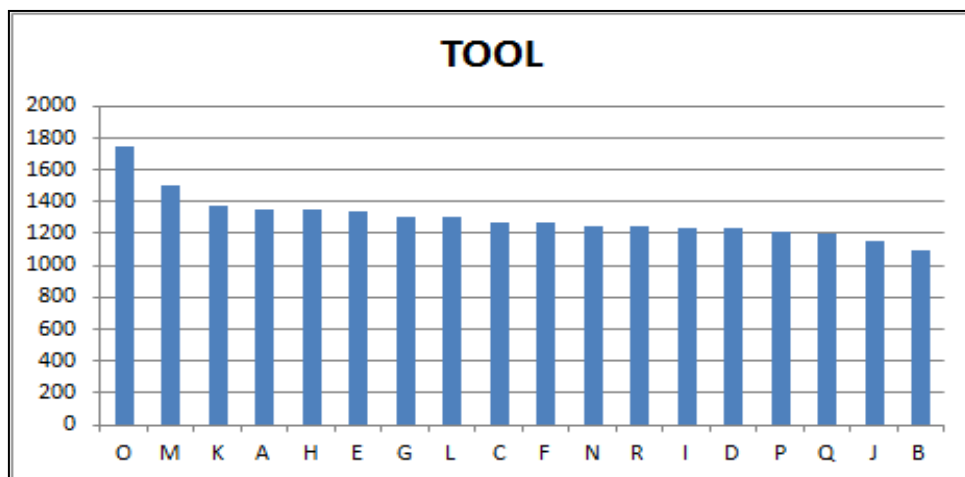


Gráfico 4 – Distância Centro da Peça ao Manípulo
 Fonte: Autoria Própria.

O Gráfico 5, apresenta a componente de torque desenvolvida por produto. Verifica-se que nesta análise, a condição mais crítica ainda continua com o produto “A”, que gera um torque de quase 330Nm aplicada ao manípulo.

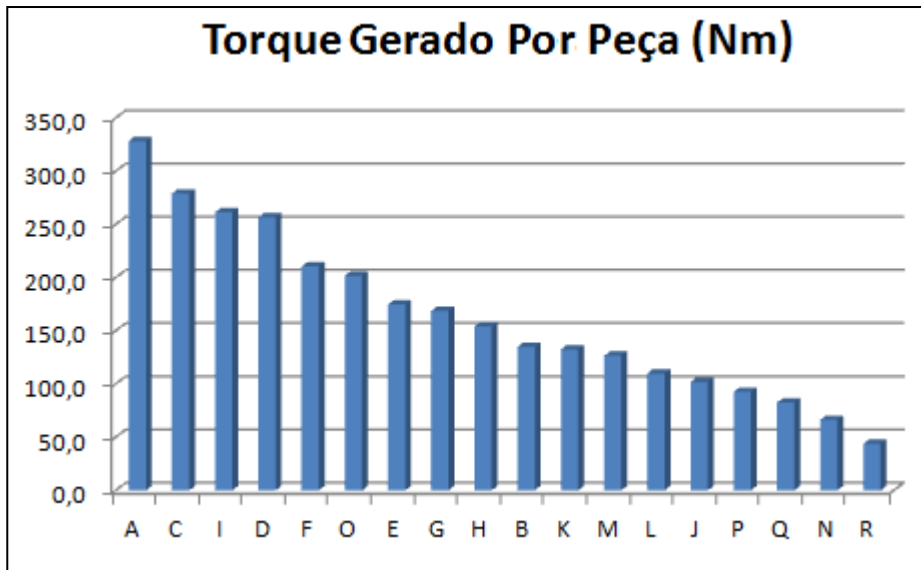


Gráfico 5 – Torque Gerado Por Peça em Nm.
Fonte: Autoria Própria.

Considerando os valores até então apresentados nos gráficos 3, 4 e 5, é possível perceber que o equipamento está sobrecarregado e as características da produção criam um potencial nocivo ao robô.

Na Figura 17, a Kuka (2013) apresenta o gráfico do centro da carga suportada pelo robô em relação à distância do manipulador. Este valor se refere aos valores apontados no Gráfico 3 – Carga Total Movimentada e Gráfico 4 – Distância Centro da Peça ao Manipulador. Verifica-se que este equipamento é capaz de carregar até 60 quilogramas com deslocamento máximo de 900mm em Lz, direção do TOOL e 100mm na componente vetorial Lxy, dado pela equação ($\sqrt{x^2 + y^2}$), com referencia apenas ao eixo A6 do manipulador (KUKA, 2013). Este referencia é mais bem detalhada na página 51, pela Figura 20.

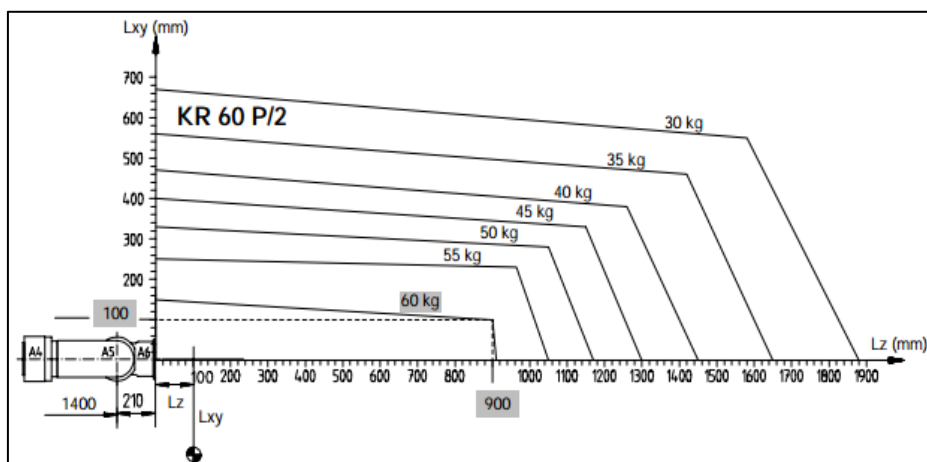


Figura 17 – Relação de Carga e Distância
Fonte: Kuka (2013).

Neste caso de estudo, não se pode apenas cruzar os dados conforme a figura 18, uma vez que o centro de massa resultante, envolvendo todos os dispositivos acoplados ao robô, é inferior ao valor do TOOL, que representa apenas o centro de massa da peça movimentada. A Figura 18 ilustra, de forma exemplificada, o centro de gravidade do conjunto, considerando valores aproximados ao do produto “A”.

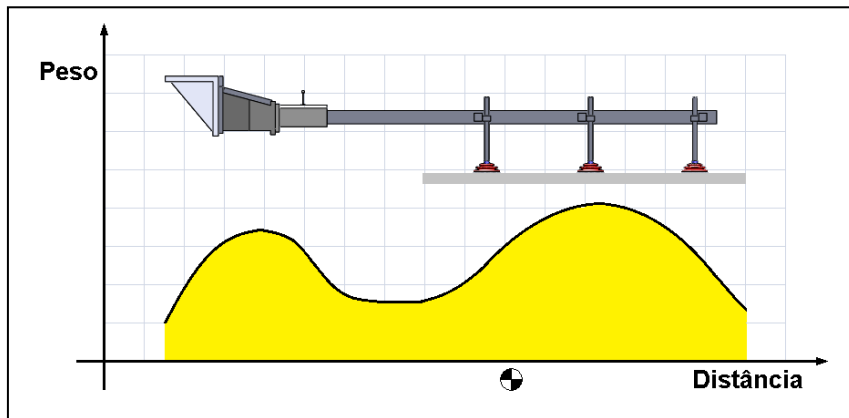


Figura 18 – Centro de Gravidade da Carga do Robô
Fonte: Autoria Própria

Aliado ao peso do conjunto e ao deslocamento da carga no eixo do robô, foi analisada a última agravante de forma dinâmica no processo. Para este caso, verifica-se no Gráfico 6, que 50% dos itens do mix atingiram uma cadência real acima de sete peças por minuto sendo que a média de carga máxima deslocada pelo robô supera 61 quilogramas.

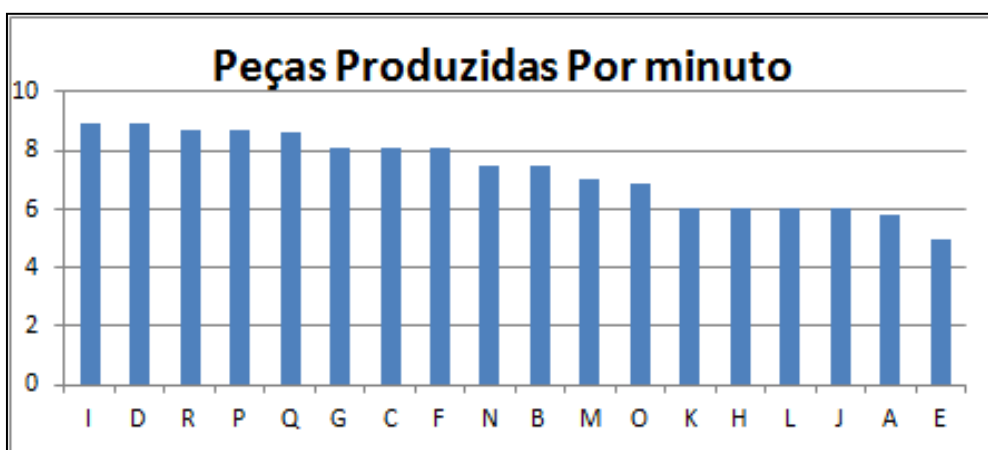


Gráfico 6 – Cadência do Processo
Fonte: Autoria Própria

Considerando as informações coletadas e realizando a multiplicação dos dados de carga total, TOOL e cadência, para todo o mix, foi obtido o Gráfico 7

em % de contribuição para depreciação do equipamento. Sendo que o fundo de escala do gráfico não significa limite do equipamento durante a movimentação de peças, mas o produto que mais exige esforço. Percebe-se que os itens I e D, são os mais críticos para o robô. Pois neste caso admite-se também o processo dinâmico, utilizando os valores reais médios de cadência.

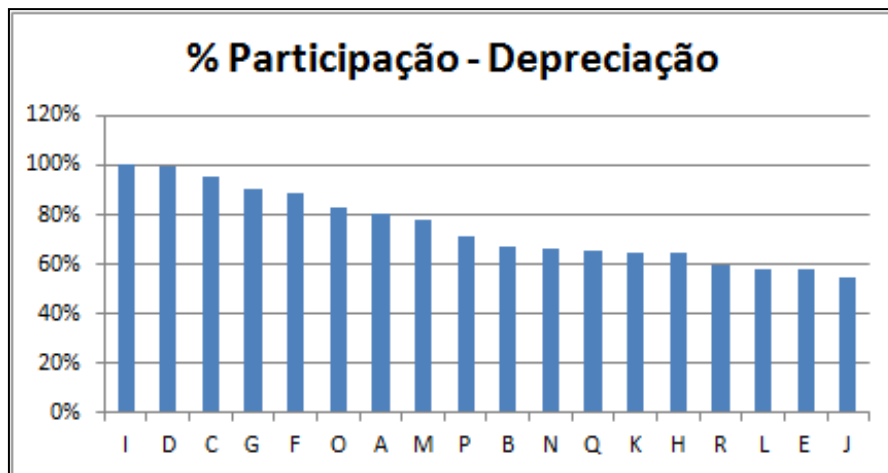


Gráfico 7 – Depreciação por Produto
Fonte: Autoria Própria

4.2 Análise Dinâmica

Sabendo-se das dimensões complexas das peças movimentadas pelo robô R6 durante o processo, a disposição das garras e demais dispositivos conectados ao manipulador, fica inviável calcular o momento de inércia do conjunto. Para tanto, foi decidido, utilizar apenas as ferramentas de diagnóstico oferecidas pelo robô e fazer a verificação *online* em tempo de resposta.

Durante a execução de trajetória, o robô gerencia todos os alarmes do conjunto, exibindo um arquivo de *log* sempre que detecta alguma anomalia, como verificado na Figura 19. Esta indicação de sobrecarga sugere o esforço excessivo do robô em executar o movimento programado, colaborando para a depreciação do equipamento.

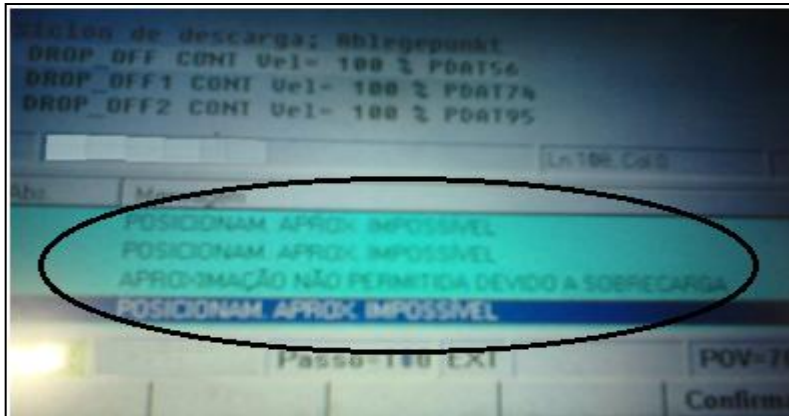


Figura 19 – Sobrecarga no Robô Durante Trajetória
Fonte: Autoria Própria

As variáveis de sistema **\$CURR_MON[1]...[6]** e **\$CURR_MAX[1]...[6]**, respectivamente, permitem visualizar o valor de corrente permanente máxima e a corrente de acionamento máxima, para cada eixo, bastando inserir o número correspondente a cada um dentro do colchetes. Estes valores servem de base para analisar os gráficos de corrente gerados pelo osciloscópio durante movimentação. A Tabela 5 mostra estes valores lidos em ampère do robô e a Tabela 6 indica os dados dos servos fornecidos pela Kuka Roboter.

Tabela 5 – Corrente de Trabalho
Fonte: Autoria Própria

EIXO	VARIÁVEL \$CURR_MON	VARIÁVEL \$CURR_MAX
A1	26,9	64
A2	26,9	64
A3	19,7	64
A4	12,8	32
A5	12,8	32
A6	12,8	32

Tabela 6 – Dados dos Servomotores
Fonte: Hotline: Kuka-roboter da Alemanha

EIXOS	Modelo Servo	Fabricante	Corrente Nominal	Corrente Max	Potência Nominal
A1, A2	KK67Y		19,4	63	8,2 kW
A3	KK65Y	AEG	15,3	48	6,6 kW
A4, A5, A6	KK55Y		9	22,5	3,8 kW

Na comparação entre as duas tabelas verifica-se que os valores lidos no robô estão ligeiramente alterados e superiores aos preconizados pelo fabricante. Este desvio sugere que o equipamento tenha sido modificado para atender uma demanda de esforço maior sem que ocorra falha de corrente máxima.

4.2.1 Análise por Osciloscópio

O sistema do robô contempla algumas importantes ferramentas de análise durante a realização de trabalho. Serão exploradas apenas: Protocolo de falhas e Osciloscópio. Respectivamente na primeira gera um arquivo de *log* de falhas com capacidade programada de amostragens, onde qualquer falha e/ou alteração externa, desde a mudança de operação de automático para manual ou modificação de trajetória, um evento de falha de sistema, ou alarme externo do próprio processo, são arquivados de forma cronológica. Sendo que após o estouro do *buffer*, as novas mensagens são sobrescritas sobre as mais antigas. Esta ferramenta permanece ativa mesmo que o equipamento esteja parado, por isso é tão importante, pois, é possível a verificação de uma falha mesmo que tenha ocorrido no dia anterior. O osciloscópio permite uma aquisição de dados com tempo predefinido, porém é possível que inicie a gravação durante a ocorrência de um evento em especial, ou mesmo pelo próprio utilizador.

Para tornar confiável a análise de carga nos servos motores, foi adotada a seleção manual de obtenção gráfica de corrente, a fim de que se obtenham valores mais coerentes com o processo. Descartando a coleta de dados durante possíveis falhas, paradas por emergência, paradas induzidas, ou outro fator externo que possa ocorrer no processo gerando trancos pontuais e induzindo a análise ao erro.

Na configuração do registro foram utilizados vários padrões de tempo e concluído que um valor menor, capaz de contemplar ao menos 2 ciclos completos do robô, são suficientes e visualmente melhores, uma vez que o gráfico se repete ao longo do tempo. Para tanto se adotou 20 segundos como padrão.

Esta função pode ser acessada mesmo com o equipamento realizando trabalho, não sendo necessário passá-lo para manual. A configuração dos registros para robô kuka controladora KRC1 segue a sequência (1) e os valores para cada produto analisado seguem a Tabela 7.

A Kuka recomenda utilização de no máximo sete caracteres ao nome do registro, porque este ainda receberá mais um número. Para o item A, foi inserido PROD_A como o nome, porém após a gravação, o robô renomeou para PROD_A1.TRC, adicionando o número 1 para diferenciar entre o tipo de registro selecionado e a extensão .TRC, que só pode ser visualizada dentro do sistema do Robô.

Menu Display > Diagnóstico > Osciloscópio > Configuração (1)

Tabela 7 – Configuração Registro do Osciloscópio
Fonte: Autoria Própria

REGISTRO	VALOR
Nome do Registro	PROD_X (valor de A..R)
Duração do Registro (em seg)	20
Trigger com início de um passo de movimento	
Variável de Trigger	1ª DSE
Zona de entrada / saídas	Inaktiv
Parâmetros a Registrar	Apenas corrente nos eixos

Para exibir os gráficos gerados pelo robô, deve-se utilizar a sequência (2), onde os registros configurados anteriormente serão exibidos na tela com a extensão TRC.

Menu Display > Diagnóstico > Osciloscópio > Display (2)

Após executado o passo descrito anteriormente e pressionado a tecla **<Continuar>**, será exibida uma tela com todas as curvas de medições realizadas pelo robô, conforme Gráfico 8. Na parte superior da tela, se encontra

exibido a legenda de cores, conforme configuração prévia do usuário. São também mostrados, a função e o fator de multiplicação individualizado para cada cor.

Para melhor visualização, deverá ser selecionada apenas a curva de interesse pressionando, na parte inferior da tela, a tecla respectiva de cada cor. Deste modo é possível exibir, ocultar o gráfico, habilitar a função cursor e utilizar a função zoom, corrigindo a escala de visualização do gráfico.

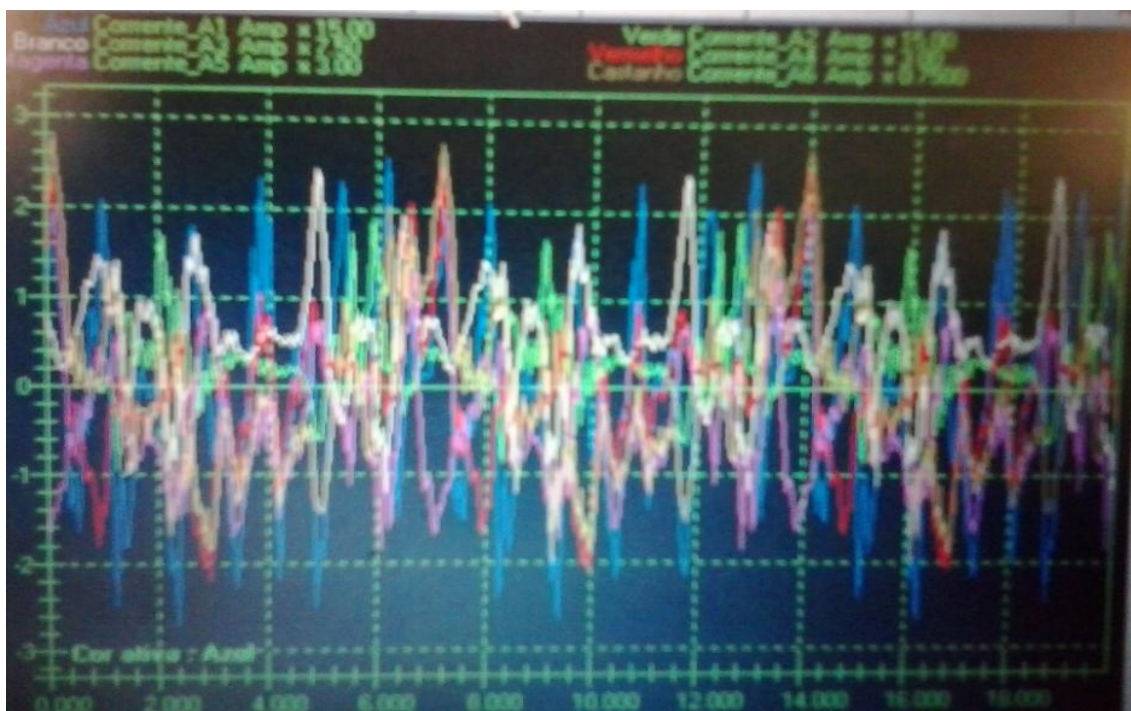


Gráfico 8 – Monitoramento de Corrente em Todos os Eixos
Fonte: Autoria Própria

O Gráfico 9 exibe picos com variação aproximada de -3,2 a +3, com fator de multiplicação de x15, representando 93 ampère de pico à pico para o eixo A1, onde a corrente nominal configurada é de 26,9 e a máxima 64 ampères conforme Tabela 5. Verifica-se também que a variação não é um fato isolado, pois o evento se repete ao longo do tempo durante toda a amostragem.

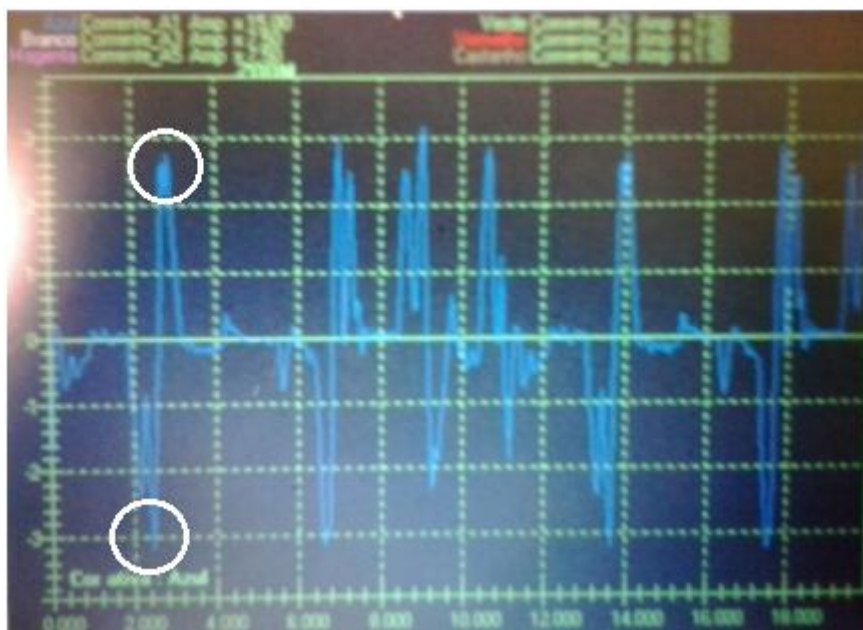


Gráfico 9 – Monitoramento de Corrente Eixo A1
 Fonte: Autoria Própria (Abcissa= 2 segundos por divisão;
 Ordenada= 15,0 Ampères por divisão)

O Gráfico 10 apresenta uma variação superior a três unidades com multiplicador de x20, superando 60 ampères para monitoramento do eixo A2. Sendo que a corrente máxima de pico é de 64 ampères.



Gráfico 10 – Monitoramento de Corrente Eixo A2
 Fonte: Autoria Própria (Abcissa= 2 segundos por divisão;
 Ordenada= 20,0 Ampères por divisão)

Gráfico 11 apresenta corrente do eixo A3 com oscilação acima de 25 ampères com fator de multiplicação gráfica de x7,5. Valor inferior a 40 % do máximo programado para este eixo.

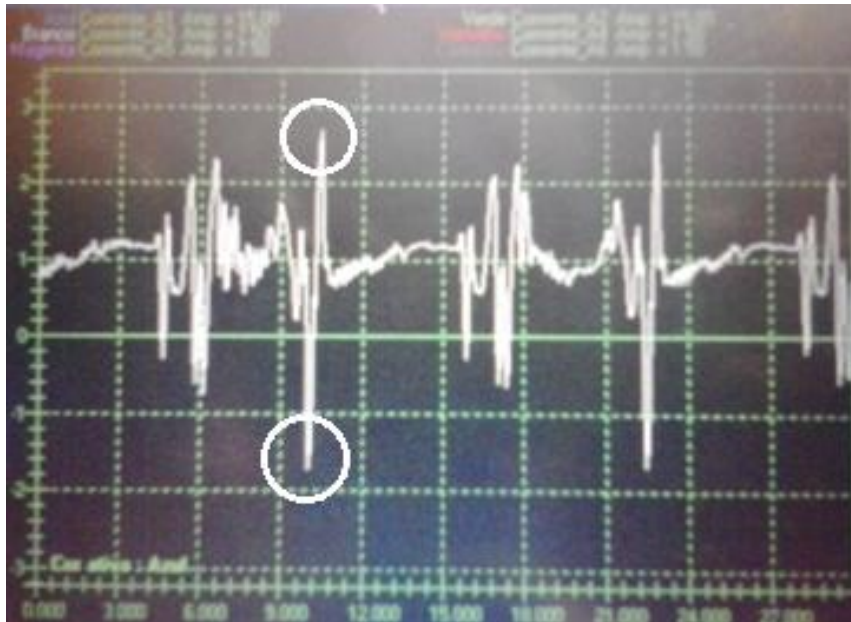


Gráfico 11 – Monitoramento de Corrente Eixo A3
 Fonte: Autoria Própria (Abcissa= 3 segundos por divisão;
 Ordenada= 7,5 Ampères por divisão)

O monitoramento do eixo A4 apresenta variações ao longo do tempo com picos de quase 20 ampères conforme indicado no Gráfico 12. Para este eixo o valor máximo programado é de 32 ampères.

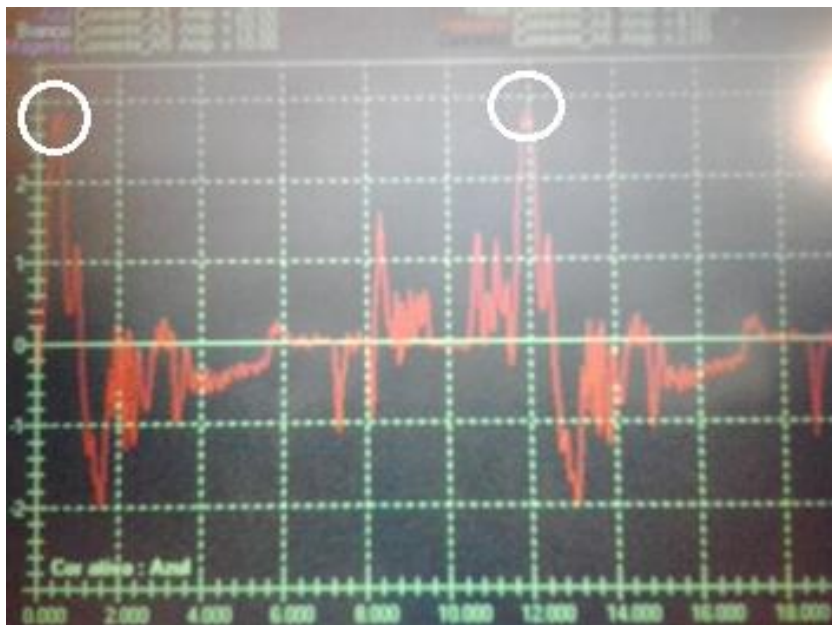


Gráfico 12 – Monitoramento de Corrente Eixo A4
 Fonte: Autoria Própria (Abcissa= 2 segundos por divisão;
 Ordenada= 4,0 Ampères por Divisão)

O eixo A5 sofreu a maior carga entre os motores do manípulo, com aproximadamente 26 ampères de variações ao longo da execução da trajetória, conforme Gráfico 13.

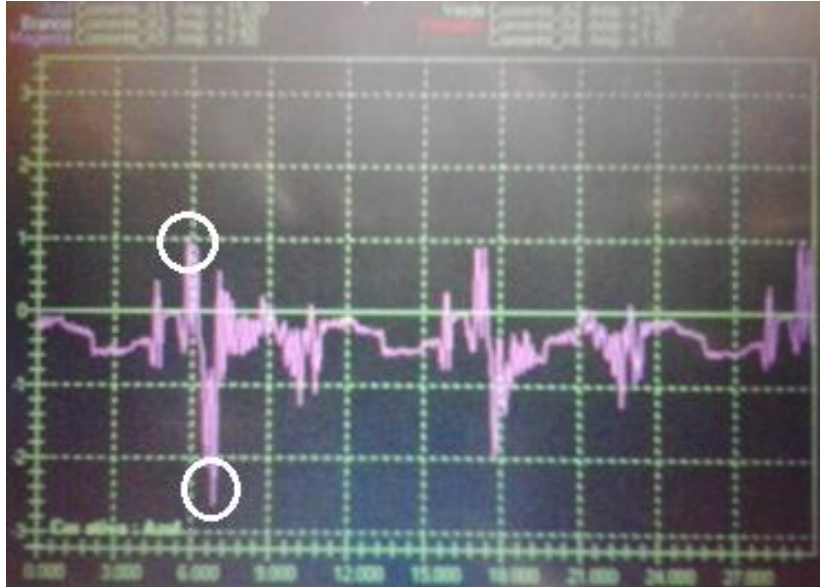


Gráfico 13 – Monitoramento de Corrente Eixo A5
 Fonte: Autoria Própria (Abcissa= 3 segundos por divisão;
 Ordenada= 7,5 Ampères por Divisão)

O Gráfico 14 mostra a curva de carga do eixo A6, com apenas seis ampères de pico a pico. Conforme análise do processo foi constatado que este eixo recebe o menor esforço durante todas as medições realizadas.

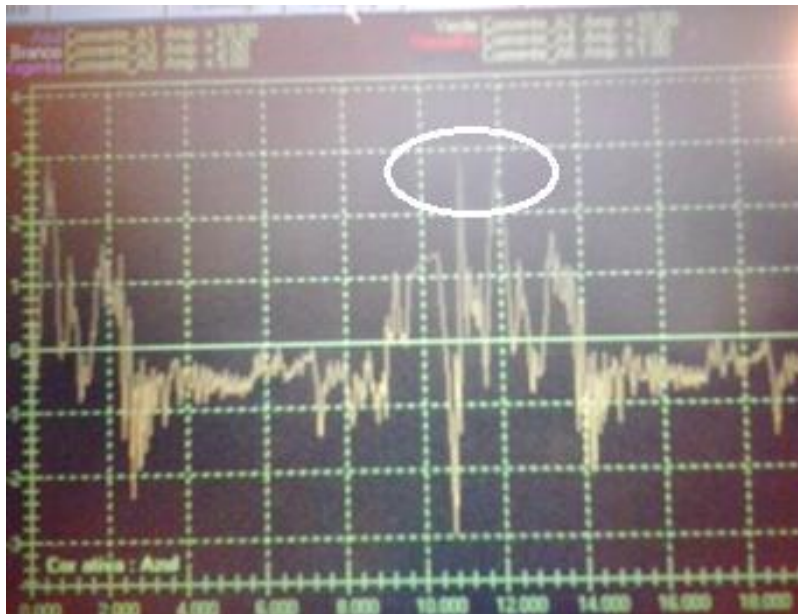


Gráfico 14 – Monitoramento de Corrente Eixo A6
 Fonte: Autoria Própria (Abcissa= 2 segundos por divisão;
 Ordenada= 1,0 Ampères por Divisão)

A Tabela 8 traz os valores máximos e mínimos para os maiores índices de correntes obtidos em todas as medições realizadas. Sendo que não foi constatada a ocorrência de falhas no processo durante a aquisição destes

dados e o robô permaneceu executando a trajetória com velocidade nominal de trabalho.

Com base nos dados coletados, verifica-se que os componentes com maior esforço respectivamente são os eixos A1, A2, A5, A4, A3 e A6 por conta da forma construtiva do equipamento aliada ao trabalho em que é submetido.

Tabela 8 – Carga Eixos do Robô
Fonte: Autorial Própria

Motor	Corrente Máxima	Corrente Mínima	Número de Amostragens
Eixo A1	93	62	26
Eixo A2	60	35	26
Eixo A3	25	16	20
Eixo A4	20	12	26
Eixo A5	26	3,7	26
Eixo A6	6	3	18

4.3 Cálculo de Carga Pelo Robô

A kuka oferece um programa para cálculo de massa, momento de inércia e centro de gravidade da carga diretamente pelo robô. O procedimento se dá através da execução de uma trajetória em que a carga é movimentada em várias direções com aumento gradativo da velocidade. Ao final do procedimento se obtém sete valores: massa calculada, posição do centro de gravidade da carga acoplada ao manípulo com referência cartesiana a partir do eixo A6 e momento de inércia do conjunto. Estes dados devem ser carregados no programa respectivo de cada gama, para que o robô realize os cálculos de trajetória de acordo com a carga movimentada durante a produção. A Figura 20, representa a forma de orientação e interpretação dos dados fornecidos pelo robô durante análise.

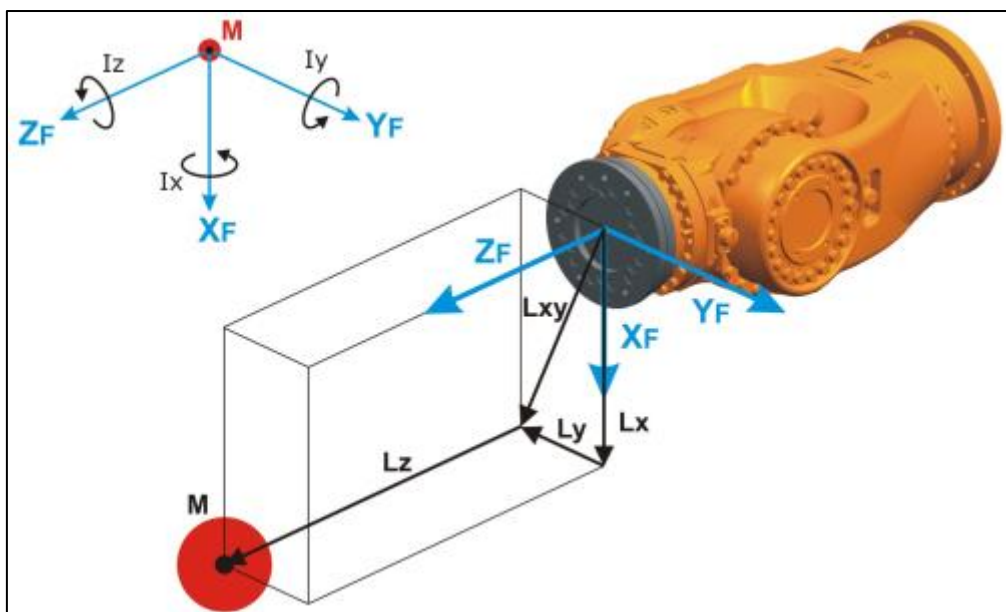


Figura 20 – Orientação Centro de Massa
Fonte: Programa kuka.load v5.0 (kuka, 2013)

Para fins de estudo, estes valores fornecidos podem ser utilizados para escolha do equipamento utilizando o programa kuka.load disponível gratuitamente para download pelo site da kuka-robotics. Infelizmente como o modelo de robô utilizado no processo foi descontinuado, o mesmo não aparece na lista de equipamentos disponibilizada para análise. Deste modo, para efeito de estudos, foi utilizado outro modelo com mesma capacidade, para se aplicar os valores da Tabela 9 – Dados de Carga.

Tabela 9 – Dados de Carga
Fonte: Autoria Própria

MASSA (kg)	Centro da Carga			Momento em kg/m ²		
	Lx	Ly	Lz	lx	ly	lz
74	125	-8	674	34	50	62
67	62	2	537	17	37	48
65	62	5	484	16	33	46
63	60	-6	491	15	26	41
63	60	-6	491	15	26	41
61	72	1	550	21	26	48
61	84	-80	573	18	29	46

Ao verificar a primeira coluna, percebeu-se que o equipamento está estaticamente sobrecarregado, e como em varias análises o equipamento não

foi aprovado, optou-se por apresentar apenas um resultado indicá-lo pela Figura 21.

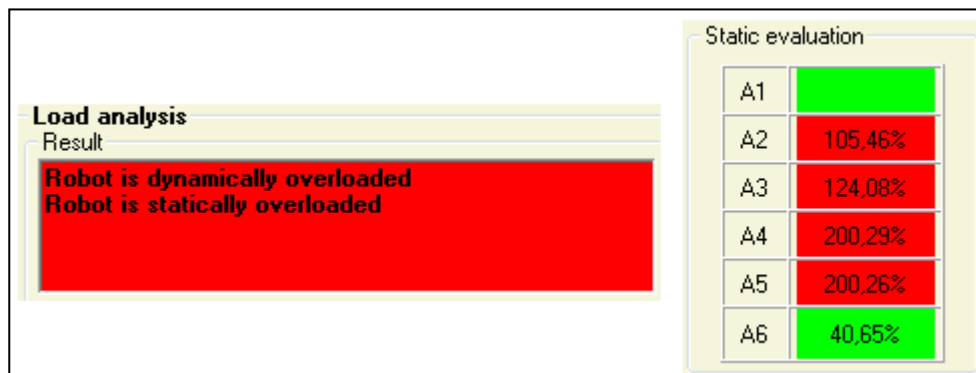


Figura 21 – Análise de Carga com Robô KR60-3
Fonte: Adaptado de Kuka.Load v5.0

Estes resultados são baseados em uma aplicação padrão e não devem ser entendidos como análise final para o equipamento. Para cada caso, a Kuka-Robotics recomenda que seja acionada a assistência técnica para uma análise mais detalhada do processo (Kuka, 2013).

Comparando os valores de sobrecarga da Figura 21 com a Tabela 8 – Carga Eixos do Robô, conclui-se que os dados de corrente obtidos em produção desviam um pouco dos apresentados pelo software de simulação. Embora em ambos os casos haja indícios de sobrecarga, culminando para as várias quebras sofridas por este equipamento durante os anos de produção.

Por conta dos desvios obtidos nos dados coletados durante o processo, em relação ao equipamento instalado na linha de prensas. Decidiu-se submeter, um robô com capacidade de 100 quilogramas de carga, aos máximos valores coletados, onde os resultados foram satisfatórios conforme as Figura 22 e Figura 23.

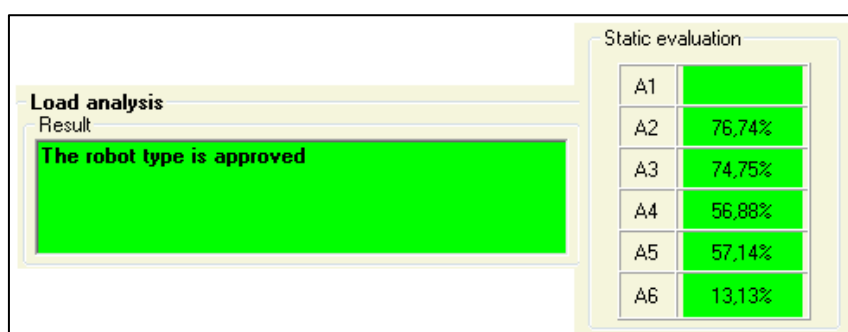


Figura 22 – Análise de Carga com Robô KR100
Fonte: Adaptado de Kuka.Load v5.0

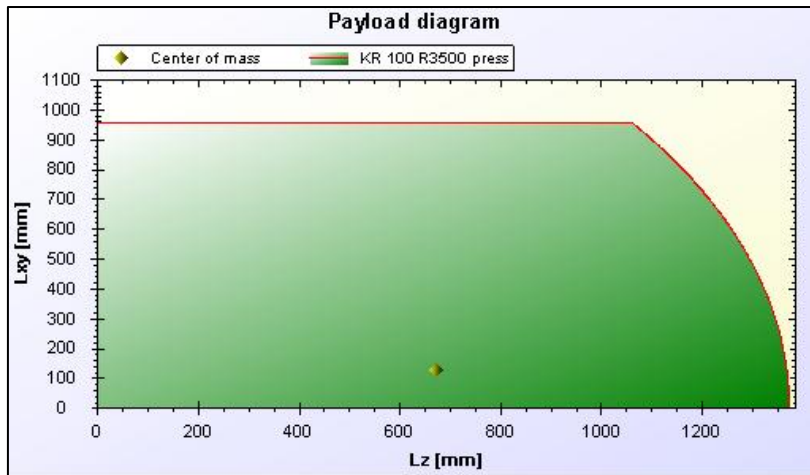


Figura 23 – Diagrama de Carga com Robô KR100
Fonte: Kuka.Load v5.0

Contudo, foi verificado que o robô R6, apesar de trabalhar ininterruptamente com 60% dos produtos acima da carga estática máxima e aliada alta demanda de produção, o equipamento se fez robusto superando a expectativa quando comparado com os dados coletados.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo de caso, apresentaram-se os dados reais de um robô inserido em uma linha de prensas de estampagem de peças automotivas e traçou-se um paralelo entre os requisitos de produção e características do robô.

Conforme os dados apresentados no Gráfico 3 – Carga Total Movimentada em Quilogramas e na Tabela 2 – Características do Robô R6., referentes aos dados coletados do processo, com as especificações do robô Kuka KR60, verifica-se que o equipamento se encontra subdimensionado em comparação com mais de 60% dos itens produzidos nesta linha.

Dados do Gráfico 9 – Monitoramento de Corrente do Eixo A1, apontam para ocorrência de picos de corrente 40% superiores aos preconizados pela Kuka na Tabela 6 – Dados dos Servomotores.

As análises foram divididas em duas partes: dinâmica e estatística e em ambas o robô é passível de sofrer sobrecarga durante realização de trajetória. Fato este que explica as seguidas quebras que o equipamento teve ao longo dos anos.

Esta avaliação final do estudo indica a necessidade de troca do dispositivo para atender as necessidades do processo. Baseado na Tabela 4 – Dados Gerais do Processo, que traz carga estática superior a 80 quilogramas. Fato também confirmado pela Figura 21 – Análise de Carga com Robô KR60-3, que desqualifica o robô atual, aprovando equipamento com 100 quilogramas de capacidade de carga conforme a Figura 22 – Análise de Carga com Robô KR100 e Figura 23 – Diagrama de Carga com Robô KR100.

Como sugestão de trabalho futuro, pode-se criar um procedimento de análise para todos os equipamentos da linha. Uma ferramenta de fácil interpretação onde se permita alimentar os dados de produção de modo que retorne uma análise do possível comportamento do equipamento submetido a diferentes tipos de cargas. Para que, antes de incorporar novos produtos ao processo, se tenha um posicionamento acerca do desempenho da planta, evitando problemas e depreciação prematura dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de Filosofia**. Tradução da 1ª edição brasileira coordenada e revista por Alfredo Bossi; revisão da tradução e tradução dos novos textos Ivone Castilho Benedetti. 5º Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

ARISTÓTELES. **Política**. Tradução, introdução e notas: Mário da Gama Kury. Brasília, Ed. Universidade de Brasília, 1985. 322p.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR12. Portaria MTE nº 1.893, de 09 de dezembro de 2013**. Disponível em <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-12-span-class-destaque-novo-span.htm>> Acessado em 25 de Fev 2014

FERNANDEZ, German Carro. GUTIERREZ, Sergio Martin. RUIZ, Elio Sancritobal. PEREZ, Francisco Mur. GIL, Manues Castro. **Robotics, the New Industrial Revolution**. Summer 2012. IEEE. DOI 10.1109/MTS.2012.2196595.

FI, The Franklin Institute Science Museum. **Maillardet's Automaton** Disponível em: <<http://www.fi.edu/learn/sci-tech/automaton/automaton.php?cts=instrumem tation>>. Acessado em 08 Jan 2014.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

IFR, International Federation of Robotics. **History**. Disponível em: <www.ifr.org/history/>. Acessado em 17 Jan 2014.

ISO 8373. 2012, Robots and robotic devices. ISO. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>> Acessado em 23 Jan 2014.

KUKA. **Especificação KR 60 P/2** - http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_60_100_P_en.pdf. Acessado em: 27 Nov 2013.

KUKA. **Kuka Sistemas**. Disponível em <<http://www.kuka-systems.com/brazil/br/>>. Acessado em: 11 Jan 2014.

LATXAGUE, Franck. **Une brève histoire des robots**. ParisTech Review. 18 de Julho de 2013. Disponível em <<http://www.paristechreview.com/2013/07/18/histoire-robots/>>. Acessado em: 10 Jan 2014.

NADARAJAN, Gunalan. **Islamic Automation: A Reading of al-Jazari's The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices (1206)**. Foundation for Science Technology and Civilization. Publication ID 803. FSTC Limited. United Kingdom. Agosto de 2007. 16p.

PILLER, Frank T. **Observations on the present and future of mass customization**. Springer Science+Business Media, LLC 2008. DOI 10.1007/s10696-008-9042-z

NETTON, Ian Richard. **Encyclopedia of Islamic Civilization and Religion**. P 354-5. Bodmin. MPG Books Ltd, 2008. 846p

PIRES, J. Norberto. **Robótica, das Máquinas Gregas à Moderna Robótica Industrial**. Publicado no Jornal Público, caderno de Computadores de 1 e 8 de Julho de 2002.

RIASCOS, Luis Alberto Martinez. **Fundamentos de Robótica: manipuladores e robôs móveis**. Ed. Pleiade, São Paulo, 2010

TARTARI FILHO, Sylvio Celso. **Modelagem e otimização de um robô de arquitetura paralela para aplicações industriais** Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo 2006.

TAVARES, Lilian Pérsia de Oliveira. São José dos Pinhais no Contexto da recente industrialização metropolitana: reflexos socioespaciais. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**. Curitiba, n.108, p. 33-59, jan./jun. 2006

XIAO, Wenlei. HUAN, Ji. DONG, Shuxinag. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. Science Direct. 2014