



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE SUPERVISÃO REMOTA DENTRO DE UM SISTEMA INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLO PROFIBUS

Ricardo S. Pereira¹, Renato F. Fernandes Jr¹

FEELT - Universidade Federal de Uberlândia

Ricardopsantos15@gmail.com, rfernandes@ufu.br

Resumo – Esse trabalho tem como intuito o estudo da comunicação acíclica de uma rede de comunicação utilizando o protocolo Profibus PA e de ferramentas que utilizem o protocolo de padrão aberto FDT/DTM para fazer manutenção de equipamentos de campo. Para isso foi montado um sistema de monitoramento e controle e um sistema aberto de manutenção de equipamentos de campo. Com auxílio de uma ferramenta de escuta de linha foi feito a captura de todos os pacotes de mensagens trocados entre todos os equipamentos, bem como os respectivos tempos da rede, com isso foi possível analisar o desempenho da comunicação acíclica e obter resultados de base de tempo da comunicação.

Palavras Chaves- Profibus PA – FDT/DTM – PACTware – ProfiTRace – comunicação acíclica.

STUDY OF REMOTE SUPERVISION INFLUENCE WITHIN AN INDUSTRIAL SYSTEM USING PROFIBUS PROTOCOL

Abstract - This work aims to study the acyclic communication of a communication network using the Profibus PA protocol and tools that use the FDT / DTM open standard protocol to maintain field equipment. For this, a monitoring and control system and an open field equipment maintenance system were set up. With the aid of a line listening tool, it was possible to capture all the message packets exchanged between all the equipments, as well as the respective network times, thus it was possible to analyze the acyclic communication performance and obtain time base results. of communication.

Keywords - Profibus PA - FDT / DTM - PACTware – ProfiTRace - acyclic communication.

I. INTRODUÇÃO

Dentro do conceito atual de indústrias 4.0, as tecnologias de comunicação modernas procuram convergir o nível gestão com o nível de chão de fábrica como uma forma de realizar a integração dos sistemas de tecnologia da informação (TI) com os sistemas existentes no chão de fábrica, chamados de sistemas de tecnologia operacional (TO) [1]. Esta integração visa melhorar o desempenho, reduzir custos e minimizar riscos. A TO refere-se a redes industriais que são normalmente

usadas nas estratégias de controle de processo e de manufatura. A TI engloba todos os componentes de software e hardware que trabalham no nível de gestão da informação indo desde o planejamento, execução até a verificação e alteração das várias etapas que compõe o processo industrial [2].

No contexto das redes de automação industrial, a algumas décadas, os protocolos evoluíram para os chamados “fieldbuses”, onde são protocolos digitais padronizados que permitem inúmeras vantagens entre elas a interoperabilidade e a intercambiabilidade entre os equipamentos. Existem diferentes protocolos de acordo com os perfis de comunicação. Entre eles, podem citar para aplicações de controle de processos os protocolos Profibus, Foundation Fieldbus, Profinet e para os perfis de controle de manufatura os protocolos Devicenet, ASI, Controlnet e Ethernet/IP [3].

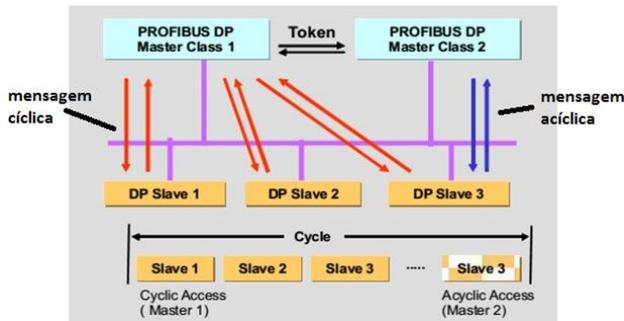
Apesar de todo avanço tecnológico, os fieldbuses trazem alguns problemas como a falta de consistência de dados e de senso de tempo entre os diversos de uma rede, vulnerabilidade a falhas no barramento e o fato de todo fieldbus ser um gargalo de comunicação, devido ser baseado em canal único e compartilhado por todos os equipamentos e por onde passam variáveis críticas de processo e informações de baixa prioridade como supervisão [4].

A integração entre a TI, que tem uma vital importância para indústria 4.0, com a TO que é formada por um parque já consagrado de tecnologias fieldbuses deve ser realizado da melhor forma possível para não interferir na estrutura atual existente dentro do ambiente atual. E dentro destes fieldbuses, o protocolo que mais se destaca atualmente dentro do ambiente industrial é o protocolo Profibus.

Desta forma, este trabalho se propõe a analisar o desempenho da comunicação acíclica, caracterizada pela supervisão de dados da planta, confrontada com uma comunicação cíclica, que representa o controle, dentro de uma rede Profibus. Para isso, será feita uma análise de linha na comunicação Profibus dentro de uma rede em diferentes cenários de uso. Também será estudado tecnologias de mercado que utilizam o padrão aberto para fazer manutenção de equipamentos de campo remotamente. Portanto, este artigo está dividido da seguinte forma: Na Seção II será mostrado os aspectos do sistema de supervisão e controle dentro do ambiente Profibus. Na Seção III será detalhado os estudos deste trabalho, as ferramentas que serão utilizadas e a metodologia de análise de desempenho da rede. Na Seção IV

de supervisão e manutenção. Os escravos são os dispositivos de campo. O Profibus DP utiliza modelo de comunicação Mestre-Escravo e utiliza o modelo Passagem de *token* para comunicação entre mestres [4]. A Figura 3 mostra um exemplo de comunicação no protocolo Profibus DP.

Figura 3: Arquitetura FDT/DTM [7]



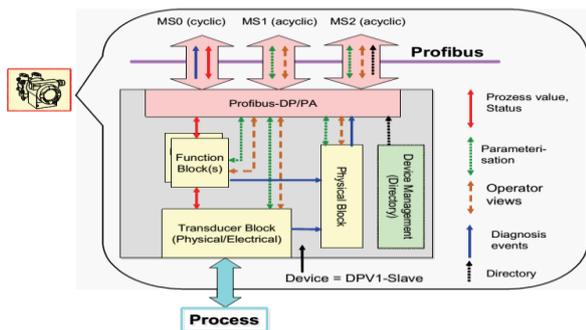
Fonte: Adaptado de PI,2005

O perfil do Profibus PA é para aplicações de controle de processo contínuo onde muitas vezes utiliza instrumentos que precisam trabalhar em áreas intrinsecamente seguras (Ex) [4].

Os serviços de comunicação do Profibus PA são os mesmos do Profibus DP, porém algumas características mais complexas foram incluídas no Profibus PA na camada de aplicação. O meio físico do Profibus PA utiliza o barramento IEC 61158-2 que comunica em uma velocidade fixa de 31.25Kbits/s. Como os barramentos entre Profibus DP e PA são diferentes, é necessário um acoplador para a conversão de meio físico (*Link*) conforme mostrado na Figura 2 [4].

Devido as características do perfil de controle de processo, os dispositivos Profibus PA são mais complexos e estruturados internamente em blocos de funções logicas. Estes blocos funcionais possuem vários parâmetros que devem ser acessados pelas ferramentas de configuração (Mestre Classe 2) para alterar as características e funcionalidades dos dispositivos de acordo com a aplicação [4].

Figura 4: Arquitetura do dispositivo Profibus PA [7]



Fonte: Adaptado de PI, 2005

A especificação Profibus PA define três tipos de blocos dentro de qualquer dispositivo: Físico, Transdutor e blocos de Funções conforme mostrado na Figura 4. O bloco Físico é responsável por todas as características gerais do dispositivo, o Transdutor é responsável pelo acesso ao ambiente externo a ser medido ou atuado e os blocos funcionais são responsáveis por estratégias logicas de controle como a comunicação com o controlador ou outro dispositivo [7].

Cada um dos blocos tem um conjunto de parâmetros, index e subindex que permite o acesso as informações internas do bloco. Qualquer informação de qualquer dispositivo, seja obtida através de comunicação cíclica ou acíclica deve passar por uma entidade de comunicação chamada de *Device Management* [7].

Para se explorar todas as características de um dispositivo Profibus PA é necessária uma ferramenta de acesso a estes parâmetros dentro de um Sistema Profibus. Algumas soluções, neste caso não são abertas como o PDM da Siemens e outras soluções são abertas como o FDT/DTM.

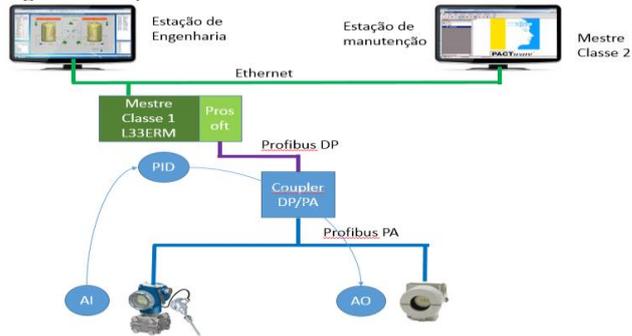
O laboratório de Controle e Automação atualmente possui uma serie de instrumentos Profibus PA e controladores Profibus Mestre Classe 1, porém até hoje não existe uma ferramenta Mestre Classe 2 que consiga ajustar os parâmetros dos dispositivos, o que não é possível explorar todos os recursos da rede.

III. METODOLOGIA

Este trabalho pretende montar um sistema aberto de Manutenção de equipamentos de campo usando o protocolo Profibus e também analisar o desempenho da comunicação acíclica dentro de uma rede industrial utilizando protocolo Profibus PA. Para isso será montado um sistema de monitoramento e controle usando o protocolo Profibus conforme mostrado a Figura 5.

De acordo com a Figura 5, o sistema Profibus proposto neste projeto é baseado em uma arquitetura típica de controle de processos industriais. O sistema consiste de uma estação de Supervisão e Engenharia onde é configurado o Mestre Classe 1 e as comunicações cíclicas da rede de campo. O Mestre Classe 2 é formado por um software de configuração dos equipamentos de campo, neste caso foi utilizado o Software Pacware que é um software opensource e será uma contribuição para o laboratório, que conforme foi falado anteriormente não existe ainda como configurar os equipamentos de campo. O mestre de classe 1 será utilizado o PLC Compact Logix L33ERM da empresa Rockwell Automation. Para fazer a varredura da rede é necessário um cartão no CLP chamado de Prosoft. Também é necessário um coupler DP/PA para conversão do meio físico. Neste caso foi utilizado o Coupler da Siemens. Os dispositivos de campo serão utilizados o transmissor de corrente FI 303 da SMAR que possui 3 blocos de saída analógica (AO) e o transmissor de temperatura TT303 que possui 2 blocos de entrada analógica (AI).

Figura 5: Arquitetura do Sistema Profibus PA do laboratório



Para a análise da performance dos dados acíclicos dentro do ambiente de controle foi montado uma estratégia simples AI-PID-AO que é muito utilizada no ambiente industrial. Esta estratégia de controle de comunicação cíclica tem prioridade sobre a comunicação acíclica e deve ser determinística, ou seja, deve sofrer o mínimo de *drift* ou variações no período de comunicação.

Com a malha de controle funcionando, na Supervisão do Mestre Classe 2, será realizada alterações nos dados dos transmissores, monitorando e alterando os parâmetros dos blocos disponíveis com o objetivo de verificar a influência da supervisão no sistema.

Para a análise dos dados será utilizado um software de escuta de redes Profibus chamado Profitrace. O objetivo é fazer a análise do frame dos dados e estudar os limites da comunicação acíclica, se ela interfere no tempo de comunicação cíclica, se o tempo de comunicação aumenta com a inserção do sistema supervisorio na rede de forma geral como seria o desempenho da comunicação acíclica na rede.

A. Configuração da rede de campo Profibus DP/PA

O scan da rede Profibus pelo controlador L33ERM é realizada pelo cartão scanner Prosoft. A configuração do cartão Prosoft é realizada através de um software chamado PCB. No PCB é feito a configuração da rede de campo Profibus com o baudrate da rede deve ser 45.45kbps devido ao Coupler DP/PA conforme mostrado na Figura 6.

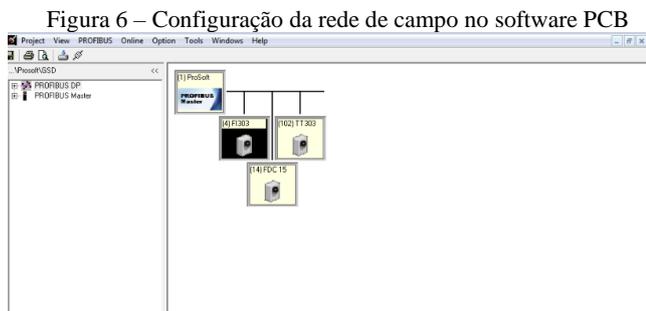


Figura 6 – Configuração da rede de campo no software PCB

Os parâmetros utilizados para configuração dos escravos estão apresentados na Tabela I.

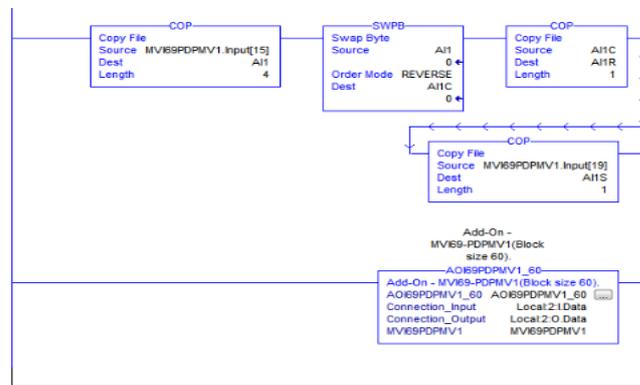
Tabela I: Parametrização dos dispositivos Profibus PA

Nome	Ende reço	Número do Pedido	Input address	Output Address
FI303	4	SP Empty_Module Empty_Module		0...4
TT303	102	Analog Input(short) Analog Input(long)	15...19 20...24	
Coupler DP/PA	14	Voltage Current	0...4 10...14	

A Figura 7 mostra uma parte da linguagem ladder montada no controlador. Desta forma, a estratégia de controle é basicamente a leitura da saída do bloco Analog Input do dispositivo com endereço 102 que representa a PV (variável manipulada) do bloco PID (proporcional integral derivativo). O bloco PID processa o valor da PV com o SP local e então atua na saída. A saída do bloco PID do controlador é ligado na entrada SP do bloco AO do dispositivo com endereço 4.

A lógica montada no Studio 5000 é responsável por fazer esse controle caso haja qualquer variação na temperatura o PID atua na saída que é o transmissor de corrente FI303 tentando colocar a temperatura de volta no valor de setpoint.

Figura 7: Exemplo da ladder no Studio 5000



B. Configuração da estação de Supervisão e Manutenção

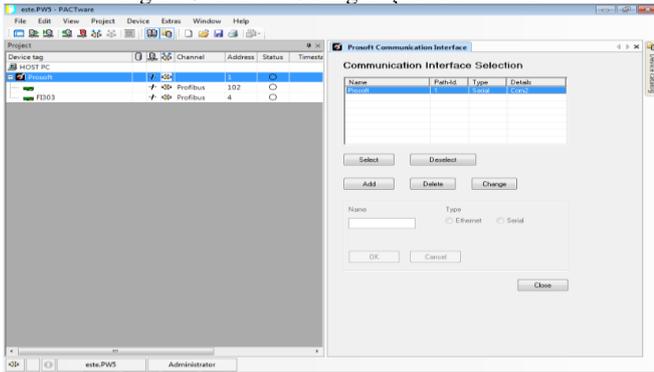
Nesta parte do trabalho foram realizados estudos para determinação de uma ferramenta aberta que para manutenção de equipamentos de campo. Como não existia nenhuma ferramenta Mestre Classe 2 no laboratório de Controle e Automação Industrial, o desafio consistiu em verificar ferramentas que se adequassem aos equipamentos existem sem necessidade de compra de licenças ou outros equipamentos adicionais. Para a comunicação através do FDT/DTM é preciso que o próprio equipamento suporte essa tecnologia pois ele deve responder serviços específicos de comunicação.

A ferramenta escolhida como software de manutenção foi o PACTware que traz a possibilidade de configuração dos parâmetros no modo off-line e online. As Figuras 8 e 9 mostram um exemplo da tela de configuração do software. O software permite alterar vários parâmetros dos transmissores como escala, modo de operação, parâmetros de calibragem de sensores, filtros, entre outros.

Primeiramente para que essa ferramenta possa atuar nos parâmetros dos equipamentos é necessário obter os DTMs dos equipamentos disponibilizado no site do fabricante. O fornecedor do sistema host fornece um DTM de comunicação (comDTM) para cada protocolo suportado. Isso garante que uma transparência para o usuário na configuração de detalhes como PC, rede, placas de interface e protocolos de passagem do sistema hospedeiro [8].

Os DTMs utilizados nesse projeto foram: DTM da Prosoft que era o DTMs de comunicação ou de Gateway e os dos dispositivos TT303 e FI303. Estes DTMs são inseridos no PACTware que possui a interface FDT conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Tela de Configuração do Pactware



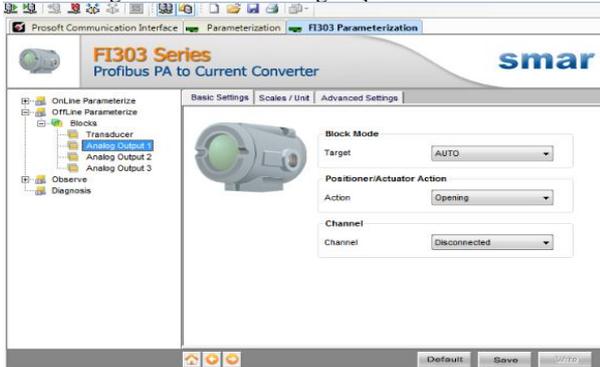
Em uma configuração, primeiramente é inserido o DTM da Prosoft para configurar a interface de comunicação, que no caso deste foi via serial na COM 2 conforme mostrado a Figura 8. Ao adicionar os escravos é necessário que adicione os endereços dos dispositivos na rede. Por fim, basta iniciar a comunicação.

IV. RESULTADOS

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos de estudo e análise da comunicação Profibus em um Sistema industrial montado de acordo com a Figura 5. Os resultados ainda são preliminares, mas já é possível montar todos os elementos discutidos na seção anterior.

Primeiramente, foi possível já habilitar a manutenção dos equipamentos através do PACTware. Todos os principais parâmetros dos blocos estão disponíveis para o usuário, bem como os métodos de configuração conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: Tela de Configuração do Pactware



Na figura 9 é mostrado a tela de supervisão do dispositivo FI303. O equipamento FI303 é um transmissor de saída Profibus PA que possui 3 blocos de saída analógica (AO) e três blocos transdutores de corrente, além do bloco display e o *resource*. Foram feitos testes na ferramenta para ver se ela interagia com os transmissores e foi possível alterar todos parâmetros disponíveis, como alterar o modo de operação do bloco AO, o valor da PV do bloco AO e a escala do transdutor. Na análise da comunicação foi observado que todos os parâmetros da tela eram enviados de uma só vez.

Para análise dos dados foi utilizada a ferramenta de escuta de linha ProfiTrace que é ligada na entrada da rede Profibus DP e consegue capturar todos os pacotes de mensagens trocados entre todos os equipamentos, bem como os

respectivos tempos da rede. A Figura 10 mostra a lista de equipamentos vivos na rede.

De acordo com a Figura 10, os endereços vivos na rede são: o transmissor FI303 com endereço 4, o transmissor TT303 com endereço 102, e o cooperer DP/PA no endereço 14.

Figura 10: Tela de Livelist do Software Profitrace



Na Figura 11 é mostrado uma captura do Pactware no momento de uma leitura de dados. Neste caso é possível ver os diferentes tipos de mensagem do protocolo Profibus DP/PA. As mensagens cíclicas são mensagens do tipo *data exchange* e não possuem o campo SAP que é um identificador de funções. Elas somente podem ser enviadas pelo Mestre Classe 1. No exemplo, os pacotes 6, 7, 13,14 são exemplos de mensagens *data exchange*. As mensagens acíclicas podem ser enviadas tanto pelo mestre Classe 1 quanto o mestre Classe 2. Um dos tipos de mensagens acíclicas e a leitura acíclica que possui SAP 50-48. No exemplo, o pacote 10 é uma requisição de leitura, enquanto que o pacote 21 é a resposta.

Figura 11: Captura dos dados da Rede

Frame	Timestamp	Type	Addr	Service	Msg type	Dir	SAPS	Data/Data
6	19:48.175	SD1	1->14	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
7	19:48.177	SD2	1-<14	DL	Data Exchange	Res	10 41 C0 00 00 80 00 00 00 4F	
8	19:48.187	SD1	1->14	FDL Status	Req			
9	19:48.188	SD1	1-<14	Passive	Req			
10	19:48.195	SD2	1->102	SRD_LOW	DPV1_Read_Req	Req	50-48	4 5E 01 81 F0
11	19:48.204	ACK			Short acknowledge	Res		
12	19:48.210	SD4	1->1	Token pass	Pass token			
13	19:48.215	SD1	1->102	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
14	19:48.223	SD2	1-<102	DL	Data Exchange	Res	10 43 95 FC A3 80 00 00 00 4C	
15	19:48.233	SD2	1->4	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		5 42 C8 00 00 00
16	19:48.242	ACK			Short acknowledge	Res		
17	19:48.247	SD1	1->14	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
18	19:48.249	SD2	1-<14	DL	Data Exchange	Res		10 41 C0 00 00 80 00 00 00 4F
19	19:48.259	SD1	1->15	FDL Status	Req			
20	19:48.274	SD2	1->102	SRD_LOW	DPV1_Poll	Req	50-48	0
21	19:48.283	SD2	1-<102	DL	DPV1_Read_Res	Res	50-48	8 5E 01 81 04 00 00 00 00
22	19:48.293	SD4	1->1	Token pass	Pass token			
23	19:48.299	SD1	1->102	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
24	19:48.307	SD2	1-<102	DL	Data Exchange	Res	10 43 95 FC A3 80 00 00 00 4C	
25	19:48.316	SD2	1->4	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		5 42 C8 00 00 00
26	19:48.326	ACK			Short acknowledge	Res		
27	19:48.331	SD1	1->14	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
28	19:48.333	SD2	1-<14	DL	Data Exchange	Res		10 41 C0 00 00 80 00 00 00 4F
29	19:48.342	SD1	1->16	FDL Status	Req			
30	19:48.358	SD4	1->1	Token pass	Pass token			
31	19:48.364	SD1	1->102	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
32	19:48.371	SD2	1-<102	DL	Data Exchange	Res	10 43 95 FC A3 80 00 00 00 4C	
33	19:48.381	SD2	1->4	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		5 42 C8 00 00 00
34	19:48.390	ACK			Short acknowledge	Res		
35	19:48.396	SD1	1->14	SRD_HIGH	Data Exchange	Req		
36	19:48.397	SD2	1-<14	DL	Data Exchange	Res		10 41 C0 00 00 80 00 00 00 4F

Ainda de acordo com a Figura 11, é possível verificar que a latência de um *data exchange* para o endereço 102 é de 2 a 3ms enquanto que para o endereço 4 é de 7 a 8ms. Com relação mensagem acíclica de leitura, a latência foi de 88ms. O período de *scan* da rede é em torno de 84ms incluindo as mensagens acíclica. Porém é possível notar que a mensagem acíclica nem sempre será resolvida em um mesmo ciclo de *scan* pois ela tem menor prioridade que a mensagem cíclica.

A Figura 12 mostra um exemplo de mensagem de escrita no bloco display no transmissor TT303 da string "pa" obtida através do Pactware. De acordo com a Figura 12, O bloco display do endereço 102 representa o slot 5 e o parâmetro do

display é o 27 e ele tem 16 bytes, onde “70 61” representa o valor ASCII dos caracteres de “pa”.

Figura 12: Mensagem de Escrita no bloco Display TT303

```

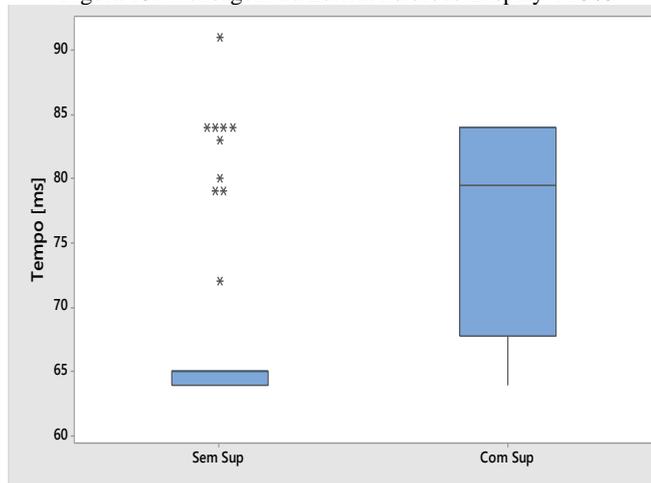
Framestructure: SD2 message
Source address: 1
Destination address: 102
Frame type: Request message

PROFIBUS DP-V1 C2 Message:
Write_Req
Slot=5
Index=27
Length=16
Data :
70 61 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00

```

Por fim, foram realizadas várias capturas e analisado o *scan* da rede tanto sem supervisão como com supervisão. O objetivo era analisar o quanto uma rede pode sofrer com um excesso de supervisão devido a manutenção. Os resultados são mostrados na Figura 13.

Figura 13: Mensagem de Escrita no bloco Display TT303



A análise do boxplot da Figura 12 mostra que a comunicação cíclica da rede com 2 dispositivos com 2 mensagens de data Exchange é em média de 65ms e ela tem pouca variação (drift). Enquanto que quando se tem supervisão, o período de scan da rede aumenta para 85ms em média e a variação dos valores são maiores.

Outra análise que pode ser feita da rede é que mesmo o PACTware sendo o Mestre de classe 2, ele entra na rede através do endereço do mestre de classe 1 na comunicação.

Outro teste realizado foi de mandar valores em 2 blocos de funções ao mesmo tempo do mesmo equipamento para ver a resposta do frame. Mesmo o comando de escrita sendo mandado ao mesmo tempo eles não entram no mesmo ciclo o tempo do primeiro comando de escrita para o segundo é de 482 milissegundos.

Por fim, um dos problemas da utilização do Pactware nesta análise é que não é possível enviar mais comandos que existe em uma tela o que limita os testes a poucos parâmetros de leitura e escrita por vez.

V. CONCLUSÃO

O estudo de ferramentas de padrão aberto levou a ferramenta PACTware que possibilitou fazer a manutenção dos equipamentos de campo remotamente. Com isso foi realizado o estudo e análise do desempenho da comunicação acíclica da rede Profibus auxiliada pelo PACTware que representava o sistema de supervisão da planta e confrontada com a comunicação cíclica feito pelo controle da planta representada na lógica construída no PLC da Rockwell. Através do ProfiTrace a ferramenta de escuta de linha observou que há uma diferença de tempo de scan da rede entre as duas comunicação mostrando que com a adição da supervisão acarretou um aumento de tempo de scan da rede, e mostrou que as mensagens cíclicas possuem prioridade maior que as mensagens acíclicas o que fazem com que as mensagens acíclicas sejam mandadas em ciclos diferentes.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FDI Cooperation (2016), Digital Transformation in the age of IIOT, disponível on: <https://fieldcommgroup.org/technologies/fdi/fdi-documents-and-downloads>. Acesso em: 15/08/2019.
- [2] YAQOUB, I., AHMED, E.; HASHEM, I. A. T.; AHMED, A. I. A.; GANI, A.; IMRAN, M.; GUIZANI, M. “Internet of Things Architecture: Recent Advances, Taxonomy, Requirements, and Open Challenges.” *IEEE Wireless Communications* 24 (6 2017): 10-16.
- [3] KUMAR, S. S. *Fieldbus and Networking in Process Automation*, CRC Press, 2014.
- [4] VENTURINI, V. P. – Desenvolvimento de um mestre Profibus com a finalidade de análise de desempenho. Dissertação EESC, USP, 2007.
- [5] J. Kjellsson, A. E. Vallestad, R. Steigmann and D. Dzung, "Integration of a Wireless I/O Interface for PROFIBUS and PROFINET for Factory Automation," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 10, pp. 4279-4287, Oct. 2009. doi: 10.1109/TIE.2009.2017098
- [6] Mitsuhiro Yamamoto and Hideyuki Sakamoto, "FDT/DTM framework for field device integration," *2008 SICE Annual Conference*, Tokyo, 2008, pp. 925-928. doi: 10.1109/SICE.2008.4654787
- [7] PI (2005) – Profibus Para Automação de Processos, disponível em: <https://www.profibus.com/download/brochures-white-paper/>, Acesso em: 15/08/2019.
- [8] Profibus Installation Guideline for Cabling and Assembly. Version 1.0.6. May 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) por nos permitirem realizarmos esse estudo.