

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

VITOR KAZUO SHIN-IKE

**ESTUDO DA INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTOS *WIRELESS* NO
MONITORAMENTO DE UMA TORRE DE CICLONES DE INDÚSTRIA
CIMENTEIRA**

MONOGRAFIA - ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2013**

VITOR KAZUO SHIN-IKE

**ESTUDO DA INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTOS *WIRELESS* NO
MONITORAMENTO DE UMA TORRE DE CICLONES DE INDÚSTRIA
CIMENTEIRA**

Monografia de conclusão de curso de Especialização em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação Industrial.

Orientadora: M.Sc. Simone Massulini Acosta

**CURITIBA
2013**

RESUMO

SHIN-IKE, Vitor Kazuo. **Estudo da instalação de instrumentos *wireless* no monitoramento de uma torre de ciclones de indústria cimenteira.** 2013. 133p. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

Este trabalho tem como objetivo estudar a instalação de instrumentos *wireless* em uma torre de ciclones de indústria cimenteira. Primeiramente, explica o funcionamento da torre e as variáveis nela analisadas durante o processo produtivo. Em seguida, são levantadas as opções mais relevantes e comentadas de instrumentos e redes sem fio disponíveis no mercado. Posteriormente, a instalação com fio utilizada e conhecida atualmente é comparada uma instalação sem fio proposta. Por fim, as conclusões sobre a possibilidade, ou não, de substituição do tipo de montagem atual.

Palavras-chaves: torre de ciclones, instrumentos, sem fio, redes, indústria cimenteira

ABSTRACT

SHIN-IKE, Vitor Kazuo. **Study of the installation of wireless instruments to monitor a cyclone tower of a cement industry.** 2013. 133p. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

This work's objective is to study the installation of wireless instruments in a cyclone tower of a cement industry. First of all, explains the operation of the cyclone tower and its analyzed variables during the production process. Then, market's most relevant and commented options of instruments and wireless network are explained. Subsequently, a comparison of the nowadays used method of installing wired instrument and a wireless instrument installing solution proposed is presented. At the end, the conclusion about the possibility of changing or not the actual way of installing instruments.

Key Words: cyclone tower, instrument, wireless, networks, cement industry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Torre de Ciclones.....	8
Figura 2 – Caminho crítico de uma nova fábrica de cimento.....	8
Figura 3 – Processo de fabricação do cimento.	14
Figura 4 – Tipos de Cimento por classe de resistência e norma.....	16
Figura 5 – Fabricação do Clínquer – Pré-aquecimento, forno e resfriador.....	18
Figura 6 – Energia consumida por tipo de processo de fabricação de cimento.	19
Figura 7 – Sistema de Pré-aquecimento com calcinador em linha (ILC).....	20
Figura 8 – Canhões de ar em torre de pré-aquecimento.....	23
Figura 9 – Exemplo de canhões de ar em uma planta de cimento.....	23
Figura 10 – Ciclone de fluxo reverso.....	24
Figura 11 – Separação do material no ciclone.	24
Figura 12 – Curvas da relação do diâmetro da partícula x eficiência do ciclone.....	25
Figura 13 – Eficiência e queda de pressão x vazão gás entrada no ciclone.	27
Figura 14 – Sinal HART sobreposto ao analógico 4-20mA.	30
Figura 15 – Rede HART ponto a ponto e multiponto.....	31
Figura 16 – <i>Wireless</i> HART – Topologia de rede <i>mesh</i>	31
Figura 17 – Canais disponíveis na faixa 2,4 GHz ISM do <i>Wireless</i> HART.....	33
Figura 18 – <i>PN-code</i> 32 bit para a frequência 2450 MHz DSSS.....	34
Figura 19 – Rede sem fio conforme padrão ISA100.11a.	37
Figura 20 – Topologias estrela, estrela- <i>mesh</i> e <i>mesh</i> no padrão ISA100.11a.....	39
Figura 21 – Método <i>Slotted hopping</i> de salto de canais.....	42
Figura 22 – Método <i>Slow hopping</i> de salto de canais.	42
Figura 23 – Método híbrido de salto de canais.....	42
Figura 24 – Tendência do mercado <i>wireless</i> em indústrias de processo.	45
Figura 25 – Estimativa de crescimento de dispositivos sem fio no mundo.....	46
Figura 26 – Diferença de crescimento na indústria de processo e discreta.	47
Figura 27 – O <i>Wireless</i> em um sistema de controle distribuído.	48
Figura 28 – Divisão do mercado <i>wireless</i> em 2012 por tipo de tecnologia.....	49
Figura 29 – Fluxograma de processo da alimentação e exaustão da torre.....	52
Figura 30 – Lista de instrumentos da alimentação da torre de ciclones.....	55
Figura 31 – Fluxograma de processo da torre de ciclones.....	56
Figura 32 – Lista de instrumentos da torre de ciclones.	58
Figura 33 – Quantidade total de cabos da torre de ciclones e sua alimentação.	59
Figura 34 – Lista de cabos dos instrumentos da torre e sua alimentação.....	60
Figura 35 – Quantidade detalhada de materiais dos instrumentos – parte 1.	62
Figura 36 – Quantidade detalhada de materiais dos instrumentos – parte 2.	63
Figura 37 – Quantidade total de materiais elétricos exclusivos da instrumentação. .	64
Figura 38 – Quantidade de pontos de entrada e saída do sistema estudado.	65
Figura 39 – Cronograma de montagem elétrica – torre de ciclones.....	66
Figura 40 – Relação de instrumentos com aplicabilidade sem fio.....	76
Figura 41 – Relação de instrumentos com possibilidade de aplicação sem fio.....	77
Figura 42 – Relação de instrumentos com e sem cabo.	78
Figura 43 – Quantidade de pontos de automação possíveis de substituição.....	92
Figura 44 – Valores instalação com cabo X instalação sem cabo.....	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	7
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	7
1.3	OBJETIVOS	9
1.3.1	Objetivo Geral	9
1.3.2	Objetivos Específicos	9
1.4	JUSTIFICATIVA	10
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2	TORRE DE CICLONES	13
2.1	FABRICAÇÃO DO CIMENTO	13
2.2	PRÉ-AQUECIMENTO	17
2.3	CICLONES	23
3	INSTRUMENTAÇÃO WIRELESS	28
3.1	WIRELESSHART	29
3.2	ISA 100.11A	36
3.3	O MERCADO DOS DISPOSITIVOS SEM FIO	45
4	INSTALAÇÃO VIA CABO	51
4.1	EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS	52
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS	58
4.3	ANÁLISE DO TEMPO DE INSTALAÇÃO	65
5	INSTALAÇÃO SEM CABO	68
5.1	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS INSTRUMENTOS SEM FIO	69
5.2	AVALIAÇÃO ESPECÍFICA DOS INSTRUMENTOS	76
5.2.1	Pressostato	78
5.2.2	Programador de Filtro de Mangas (W1P31Q1)	81
5.2.3	Transmissores de Pressão e Termopares da Torre de Ciclones	83
5.2.4	Transmissores de Pressão e Termopares do Calcinador	85
5.2.5	Transmissor de Pressão e Termopar do Duto de Gás	87
5.2.6	Transmissor de Posição e Chaves das Válvulas	89
5.2.7	Equipamentos da Rede de Automação	91
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS FINANCEIROS	94
5.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS TEMPORAIS	96
6	CONCLUSÕES	98
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A – PARTES DO PROJETO ELÉTRICO	109

1 INTRODUÇÃO

Segundo Chakravarthi (1992), a comunicação sempre foi uma característica humana muito importante para se expressar e compartilhar conhecimentos. Apesar da facilidade, rapidez e precisão hoje em dia nas trocas de informações no mundo, o autor ainda cita que foram milhares de anos para que os humanos pudessem estruturar uma forma de linguagem e métodos de comunicação que pudessem atingir várias pessoas, rapidamente e sem que houvesse confusão. Mesmo diante da constante evolução nas formas de comunicação, foi apenas há menos de duzentos anos atrás que uma mudança mais acentuada aconteceu. O fato marcante foi a requisição da patente do telégrafo elétrico, ocorrida em 1837 nos Estados Unidos, por Samuel Finley Breese Morse (HUURDEMAN, 2003).

O telégrafo elétrico expandiu-se rapidamente e, segundo Huurdeman (2003), em 1855, 10 anos após a primeira linha experimental que ligava Washington a Baltimore nos Estados Unidos, o país norte americano já contava com cerca de 50.000 quilômetros de linhas de telégrafo.

A expansão do telégrafo não parou apenas na forma terrestre. Segundo Simons (1996), de 1842 em diante várias foram as formas de telégrafo sem fio testadas. Estes experimentos foram feitos justamente em locais de difícil acesso de cabos, como ilhas isoladas ou onde os cabos já haviam sido instalados e não funcionaram. Várias foram as tentativas, mas, segundo Sarkar et al. (2006), foi apenas em 1897 que o italiano Guglielmo Marconi, considerado o pai do *wireless*, registrou o que é reconhecida por muitos como a primeira patente do mundo de telégrafo sem fio.

Desde o final do século XIX houve um grande desenvolvimento na comunicação sem fio, assim como na eletrônica que teve, conforme Riego (2009), grandes avanços com a invenção do transistor e a sua aplicação em microprocessadores. Ainda segundo Riego (2009), a popularização destes componentes, presentes nos computadores, logo alcançou uma produção em escala mundial e hoje atinge não só máquinas eletrônicas de uso pessoal, mas também o ambiente industrial dentro dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCDs).

Apesar do crescimento da comunicação sem fio, ela, ao contrário da

eletrônica, não teve tão fácil inserção inicial na indústria. Conforme Pilon (2009), a falta de conhecimento do assunto é suposta como um dos motivos para este fato, além da segurança na transmissão de dados e a vida útil da bateria que são outros fatos questionados. Almeida (2009) cita também que é necessária uma mudança de paradigma da comunidade de usuários para que a tecnologia *wireless* ganhe o mesmo nível de confiança das instalações com fio.

Abre-se então um grande leque de possibilidades de casos de estudo que podem ser feitos com a utilização de instrumentos sem fios dentro das instalações e processos industriais hoje feitas majoritariamente via cabo.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente estudo pretende comparar a viabilidade da implantação de um sistema de instrumentação sem fio com a solução utilizada atualmente via cabos. O foco do estudo será uma torre de ciclones de uma indústria cimenteira na região Centro-Oeste do Brasil.

1.2 PROBLEMAS E PREMISAS

A torre de ciclones, área do caso de estudo deste trabalho, é essencial no processo de fabricação do clínquer, matéria-prima principal dos diversos tipos de cimento vendidos no mercado. Na Figura 1 é possível ver um exemplo de uma torre de ciclones de uma fábrica de cimento. A torre, responsável pelo pré-aquecimento do material antes de ser transformado em clínquer, é a estrutura mais alta da fábrica e tida como o caminho crítico da implantação de uma nova linha da produção pelo seu tempo total e complexidade de construção. A Figura 2 mostra o cronograma real de uma nova fábrica, da mesma empresa deste caso de estudo, filtrado para que sejam realçadas apenas as tarefas críticas desta implantação. É possível verificar que a construção da torre está presente em vários itens como a construção civil, a montagem mecânica e até mesmo no *startup* da planta.



Figura 1 – Torre de Ciclones.
Fonte: WEG (2011).

Nome da tarefa	Duração	Início	Término
FÁBRICA DE CIMENTO - Cronograma Integrado	1128,63 d	#####	#####
PMO - Planejamento e Gestão do Projeto	1074,63 d	#####	#####
ENGENHARIA INTEGRADA - Civil - Mecânica - Elétrica - Automação	974 d	#####	#####
SUPRIMENTOS / CONTRATAÇÕES - Cíveis, Mecânicos e Elétricos	1024 d	#####	#####
CIVIL - Construção	913 d	#####	#####
PACOTE 1 - HABITACIONAL	333 d	#####	#####
CIVIL - TORRE DE CICLONES E CALCINADOR	305 d	#####	#####
MECÂNICA - Montagem	373 d	#####	#####
TORRE DE CICLONES / CALCINADOR / AR TERCIÁRIO	315 d	#####	#####
REFRATAMENTO - Fornecimento e Aplicação	308 d	#####	#####
Aplicação	184 d	#####	#####
Torre de ciclones	150 d	#####	#####
Retirada de andaimes e limpeza	6 d	#####	#####
COMISSIONAMENTO - Testes em vazio	276,99 d	#####	#####
START-UP - Testes com carga	59 d	#####	#####
Torre de ciclones e condicionamento / Forno / Resfriador	3 d	#####	#####
Secagem de refratários e aquecimento / Alimentação do forno - First Clinker	5 dd	#####	#####
PRODUÇÃO DE CLINQUER E CIMENTO	19 d	#####	#####

Figura 2 – Caminho crítico de uma nova fábrica de cimento.
Fonte: Autoria própria.

As dificuldades nessa construção incluem pontos como o próprio trabalho em altura, o trabalho em espaço confinado com o revestimento interno dos ciclones

da torre com tijolos refratários e as interferências entre as áreas das disciplinas civil, mecânica e elétrica/automação. Basicamente, a montadora mecânica pode realizar montagens apenas quando a empreiteira civil já liberou seus serviços. Conseqüentemente, a montadora elétrica só pode fazer algum tipo de instalação nos ciclones a cada liberação mecânica. Ou seja, apesar da possibilidade de realização de alguns trabalhos paralelos e de pré-montagens, o tempo total da montagem torna-se longo não apenas pela dificuldade em si do processo, mas também pela dificuldade de trabalhar paralelamente nesta obra.

Devido a estes motivos, acredita-se que a utilização de instrumentos sem fio no monitoramento da torre de ciclones poderia ajudar na redução de pessoas circulando neste ambiente difícil de montagem, redução do tempo e infraestrutura de montagem, redução da passagem de cabos e conseqüentemente dos custos no projeto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica da proposta de instalação de instrumentos sem fio em uma torre de ciclones de uma indústria de cimento e compará-la com o sistema com cabo atualmente utilizado nessa empresa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o processo de funcionamento da torre de ciclones.
- Pesquisar e avaliar as opções de redes sem fio disponíveis no mercado.
- Apresentar as informações da instalação dos instrumentos na torre feita via cabo.

- Apresentar as informações da proposta de instalação dos instrumentos na torre caso fosse feita sem cabo.
- Comparar os resultados e citar as vantagens e desvantagens de cada método de instalação.

1.4 JUSTIFICATIVA

Atrasos no tempo de implantação de uma planta industrial podem gerar várias consequências para uma empresa. Dentre os vários efeitos causados pelos atrasos, conforme citado por Cabrita (2008), é possível destacar alguns como o aumento o prazo de entrega da obra, o aumento do custo total da obra e a diminuição da margem de lucro.

Além dos atrasos na implantação, quando a planta entra em operação o risco se torna outro, as paradas não programadas. As perdas econômicas devido às paradas em indústrias têm sido significativas e geram como consequências não só a queda de produção como também a possível perda dos produtos que estavam passando pelo processo de fabricação naquele momento. Alguns casos divulgados na mídia podem exemplificar essa gravidade como, por exemplo, o da Petrobrás que em 2011 teve sua produção diária média de barris diminuída em 44 mil unidades e o da Suzano Papel e Celulose que, em Janeiro de 2012, teve uma parada que resultou na perda de aproximadamente 2,6% de sua produção anual conforme divulgaram Ennes e Nogueira (2011) e Fontes (2012) respectivamente.

Mais importante que os atrasos, muitas vezes os acidentes de trabalho podem causar prejuízos maiores. Segundo Santana et al. (2006), estima-se que até 10% do Produto Interno Bruto de um país seja perdido por doenças ou agravos ocupacionais. Denardin e Oliveira (2006) citam ainda que os acidentes, além de custos com primeiros socorros, interrupção da produção e demais despesas, também trazem prejuízos para a imagem da empresa em seu mercado de atuação e, no aspecto social, o sofrimento ao ser humano e a sociedade.

O trabalho proposto analisa uma alternativa de montagem de instrumentos que pode minimizar dois problemas simultaneamente. Primeiro, os instrumentos estudados estão no caminho crítico da implantação da obra, ou seja, um processo

de grande risco de atraso no projeto. Segundo, estes instrumentos necessitam de estruturas mais simples, o que resulta em menos trabalho e conseqüentemente menos trabalhadores expostos a riscos.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir os objetivos deste trabalho serão necessárias pesquisas em publicações de fabricantes de instrumentos sem fio, artigos técnicos e revistas técnicas na área de automação e redes industriais sem fio.

A seguir será necessária a coleta de informações em uma empresa cimenteira como custos dos materiais envolvidos, mão de obra e tempo necessário para desenvolvimento das atividades relativas às instalações atualmente feitas com fio.

Ao conseguir estes dados serão feitas as análises para o caso dessa instalação sem fio para efeito de comparação das duas soluções, com e sem o cabo.

Essas ações caracterizam o trabalho em uma pesquisa exploratória, de natureza aplicada e apoiada em um método comparativo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 são apresentados os objetivos, o problema e a justificativa do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentado o processo de fabricação de cimento, o funcionamento de uma torre de ciclones e o funcionamento dos ciclones.

No Capítulo 3 serão mostradas as principais opções de instrumentos sem fio (*wireless*) no mercado e suas características.

O Capítulo 4 apresenta os instrumentos com cabo utilizados atualmente na torre de ciclones.

No Capítulo 5 é apresentada a proposta de instalação dos instrumentos sem fio e realizada a comparação com o sistema com fio existente.

As considerações finais e propostas de novos estudos são apresentadas no Capítulo 6.

2 TORRE DE CICLONES

Antes de analisar a tecnologia de instrumentação sem fio e a aplicação dela na torre de ciclones em si, faz-se necessário um embasamento teórico sobre o processo de fabricação do cimento, da etapa do processo em que a torre de ciclones se encontra e sobre o seu funcionamento.

2.1 FABRICAÇÃO DO CIMENTO

O cimento é um fino pó com propriedades ligantes que, sob ação da água, endurece. Ele é parte essencial na composição do concreto, este o segundo material mais consumido pelo homem, atrás apenas da água. Seu grande uso pela humanidade deve-se ao fato do concreto ser fácil de trabalhar quando fresco e de alta durabilidade e resistência a cargas ao longo do tempo. Essas características peculiares fazem do concreto um material insubstituível em obras civis e pode ser empregado em vigas, pilares e lajes de edifícios como em barragens, pavimentações e pontes (ABCP, 2013).

Conforme a Votorantim Cimentos (2013), o processo de fabricação de cimento pode ser dividido e descrito em seis grandes etapas. As etapas são: (1) Pré-homo, (2) Moinho de Farinha, (3) Produção do Clínquer, (4) Resfriamento, (5) Moinho de Cimento, (6) Expedição de Cimento.

Na Figura 3 é possível ver estas seis etapas alocadas em uma planta de fabricação de cimento.



Figura 3 – Processo de fabricação do cimento.
Fonte: Votorantim Cimentos (2013).

A primeira etapa, Pré-homo, consiste na extração das minas e armazenamento em pátios da principal matéria-prima do cimento, o calcário. São feitas as primeiras análises do material nesta etapa, onde é traçada a composição química deste calcário (VOTORANTIM CIMENTOS, 2013).

O calcário é composto basicamente por Carbonato de Cálcio (CaCO_3) que, para o cimento, deve ter um teor em torno de 80%. Além deste carbonato, outros elementos também fazem parte da composição do calcário, sendo o Óxido de Magnésio (MgO) o mais maléfico quando este minério é utilizado na fabricação do cimento. Seu teor é regulamentado por normas tanto brasileiras quanto internacionais e, com exceção do cimento que contém aditivo de escória, deve ficar no máximo em 6,5%. Caso este teor seja menor que 4%, este calcário é denominado calcítico. Calcário com teor entre 4% e 18% de MgO é chamado de dolomítico e, acima de 18%, magnesiano (RIBEIRO, 2007).

Segundo Salomão e Pandolfelli (2008), a reação de hidratação do Óxido de Magnésio resulta no Hidróxido de Magnésio (Mg(OH)_2), conhecido também por brucita. A brucita tem densidade bem menor que seu óxido gerador. Esta diferença causa um efeito de expansão volumétrica na ordem de três vezes durante a hidratação, efeito este que dentro da estrutura compacta e rígida característica dos

concretos pode causar tensões e conseqüentemente o rompimento do material.

Na seqüência, a segunda etapa da fabricação do cimento, chamada de Moinho de Farinha, é responsável por moer o calcário armazenado com argila e outros aditivos que podem ser minérios ferrosos, alumínicos ou materiais co-processados. O material resultante desta mistura moída é um grão muito fino chamado de cru ou farinha. Esta farinha então é estocada para a utilização na próxima etapa. Vale resaltar a importância da argila nessa mistura porque ela possui, na sua composição, elementos como sílica, ferro e alumínio que são importantes para a qualidade do cimento (VOTORANTIM CIMENTOS, 2013).

Segundo a Votorantim Cimentos (2013), na terceira etapa do processo a farinha armazenada nos silos passa pela torre de ciclones, local onde circulam os gases que saem do forno e, logo em seguida, no forno rotativo em si. A farinha ao ser aquecida a uma temperatura em torno de 1400°C no forno produz o clínquer.

Conforme Santi (2003), esta etapa é chamada de processo de clinquerização e considerada o principal passo da fabricação do cimento. Neste processo várias reações químicas acontecem com o material cru como a formação do óxido de cálcio através da calcinação do calcário e as reações deste óxido formado com silicatos de ferro e de alumínio. Estas reações foram então o clínquer, um material cinza, granular, sinterizado e pelletizado.

A finalização do processo de produção de clínquer ocorre na etapa quatro do processo chamada de resfriamento. O resfriador atua na saída do clínquer do forno e tem como objetivo transportar este material quente e reduzir sua temperatura para um valor menor que 200°C. A qualidade do clínquer resfriado é então analisada através de amostras e o material transportado para moegas que ficam armazenadas não apenas o clínquer, mas também outras matérias-primas que compõem o cimento (VOTORANTIM CIMENTOS, 2013).

Na quinta etapa deste processo de fabricação fica o Moinho de Cimento. Este moinho trabalha da mesma forma que a etapa número dois do Moinho de Farinha, porém os componentes agora misturados são diferentes. Ao clínquer são adicionados gesso, calcário e pozolana ou escória que misturados e moídos, ao atingir a granulometria ideal, resultam então no cimento. As diferentes porcentagens de cada um dos materiais geram os diversos tipos de cimento diferentes (VOTORANTIM CIMENTOS, 2013).

Segundo a Holcim (2013), cada aplicação exige, conforme sua

peculiaridade, um tipo de cimento específico. Por este motivo, a escolha correta do tipo de cimento deve contar com o auxílio de profissionais legalmente habilitados, já que os vários tipos, vistos na Figura 4, variam de acordo com normas e classes de resistência diferentes.

Tipo de Cimentos		Classe de Resistência (MPa)	Norma Brasileira
CP I	Cimento Portland Comum	25	NBR 5732
CP I - S	Cimento Portland Comum com Adição	32 40	
CP II - E	Cimento Portland composto com Escória de Alto Forno	25 32 40	NBR 11578
CP II - Z	Cimento Portland composto com Pozolana		
CP II - F	Cimento Portland composto com Filer (Calcário)		
CP III	Cimento Portland de Alto Forno	25 32 40	NBR 5735
CP IV	Cimento Portland Pozolânico	25 32	NBR 5736
CPV ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	⚡ -	NBR 5733
RS	Cimentos Portland Resistente a Sulfatos	⚡ -	NBR 5737
Cimentos Especiais			

Figura 4 – Tipos de Cimento por classe de resistência e norma.
Fonte: Holcim (2013).

A sexta e última etapa engloba o transporte do cimento do moinho até silos onde ele é armazenado e, posteriormente, ensacado para comercialização (VOTORANTIM CIMENTOS, 2013).

O processo tecnológico de produção de cimento descrito por estas seis etapas é chamado de via seca. Segundo Santi (2003), o processo via seca é o processo implantando na maioria das fábricas de produção de cimento no Brasil. Além da via seca existem, conforme Silva (1994), outros quatro processos de fabricação de cimento que são: via úmida, semiúmido, semiseco e em forno vertical. Este último não será descrito com mais detalhes porque também segundo Silva (1994), este é o mais antigo processo de fabricação de clínquer utilizado em pequenas produções.

O processo tecnológico de produção via úmida caracteriza-se pela adição de água na moagem das matérias-primas. Em vez da farinha, que é gerada no processo de via seca, na via úmida gera-se uma pasta que pode ter entre 30 e 40%

do seu peso formado pela água adicionada. Após misturada, esta pasta é armazenada em silos. Na sequência do processo existe uma bacia responsável por misturar a pasta de diversos silos e criar uma mistura homogeneizada para a queima nos fornos rotativos (SILVA, 1994).

Segundo Wills e Rovere (2010), o processo via úmida foi originalmente criado para fabricação industrial devido a sua facilidade de operação e de não necessitar de processos de filtragem quando se trabalha com o pó.

O processo semiúmido, conforme Silva (1994), se assemelha ao processo de via úmida porém o percentual de água adicionado é menor e que pode chegar no máximo a 20% do peso da pasta. Esta pasta é então filtrada, granulada e sofre um processo de secagem em uma grelha, em vez de ser misturada e ir diretamente ao forno,

No processo semiseco o material gerado não é mais uma pasta e sim a farinha igual ao processo de via seca. Após gerar a farinha, porém, água é adicionada ao processo para formação de pellets que serão então enviados ao forno (SILVA, 1994). Segundo Siqueira (2005), a primeira planta de processo semiseco foi construída em 1930 com a utilização de um forno chamado de LEPOL.

2.2 PRÉ-AQUECIMENTO

A terceira etapa do processo de via seca, descrita no item 2.1, a fabricação do Clínquer, pode ser representada pela Figura 5. Nesta etapa destaca-se o processo de pré-aquecimento do material cru que acontece antes da entrada de material no forno. Este pré-aquecimento é feito, conforme a ABCP (2013), por equipamentos que aproveitam os gases quentes provenientes gerados do próprio forno.

Segundo Siqueira (2005), estes equipamentos são os ciclones e enquanto a farinha percorre estes ciclones em ordem e na direção do forno, os gases quentes do próprio forno seguem no fluxo contrário trocando calor com o material cru.

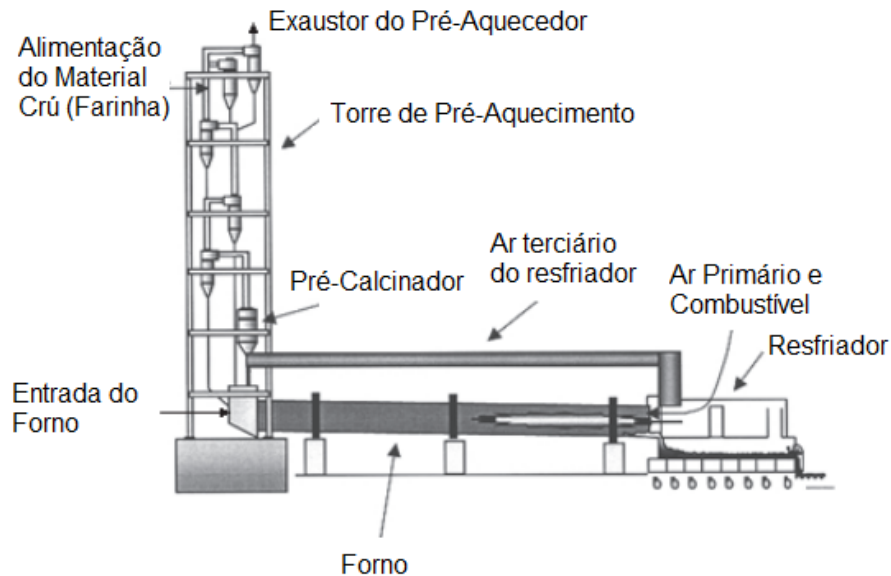


Figura 5 – Fabricação do Clínquer – Pré-aquecimento, forno e resfriador.
Fonte: Adaptado de Chinyama (2011).

Os sistemas de pré-aquecimento por ciclone desenvolveram-se rapidamente desde o ano de 1950. Os primeiros sistemas que surgiram eram compostos de quatro estágios de pré-aquecimento de ciclones. O pré-aquecimento permitiu que a temperatura da farinha neste processo saísse da temperatura ambiente e atingisse aproximadamente 800°C antes de entrar no forno. Esse processo também permitiu que, antes do material entrar no forno, por volta de 15% do processo de calcinação ocorresse. Estas duas situações fizeram com que a tecnologia de suspensão de ar nos ciclones aumentasse a eficiência da troca de calor entre o material cru e o gás quente de forma significativa, quando comparada a outros processos de produção de cimento como, por exemplo, o de via úmida (ALSOP; CHEN; TSENG, 2007).

Este aumento de eficiência pode ser visto na Figura 6. Aproximadamente 2000 kJ de energia para cada quilograma de clínquer produzido são economizados quando se compara os métodos de via seca com pré-aquecimento e o de via úmida.

TIPO DE PROCESSO	Cons. esp. de Calor [kJ/kg de clínquer]	Temperatura de Saída dos Gases [°C]
Via Úmida com forno longo	5230 - 5860	180 - 260
Via Semi-Úmida	4600	-
Via Semi-Seca	3850	-
Via Seca com forno longo	4185 - 4600	550 - 760
Via Seca com preaquecedor	3350 - 3600	330 - 380
Via Seca com precalcinador	3050 - 3140	300 - 360
Fornos Verticais	3770	-

Figura 6 – Energia consumida por tipo de processo de fabricação de cimento.
Fonte: Alsop, Chen e Tseng (2007).

Além da melhoria causada pelo pré-aquecimento, o motivo para a menor eficiência do processo de via úmida com relação a outras tecnologias de via seca é, segundo Silva (1994), a necessidade de evaporar dentro do forno a umidade que entra junto com a pasta no seu interior. Isso faz com que o forno deva ter necessariamente uma zona dentro de si especialmente para essa evaporação e, conseqüentemente, faz de sua relação comprimento/diâmetro alta. Quanto maior o comprimento do forno maior a perda de calor pelo casco e, assim, maior o gasto de energia neste processo.

Segundo Alsop, Chen e Tseng (2007), por volta do ano de 1970 uma empresa japonesa criou um processo chamado de *Flash Calciner* que consiste em adicionar um receptáculo entre dois últimos estágios de ciclones mais próximos da entrada do forno. O princípio deste *Flash Calciner* era adicionar no processo uma nova chama alimentada com combustível, igualmente à chama do forno, e com ar de combustão reaproveitado do processo de resfriamento do clínquer, chamado de ar terciário. O material pode chegar a 90% de seu processo de calcinação ao passar por este pré-calcinador. O resultado deste processo foi a redução da necessidade de calcinação dentro do forno e, por consequência, a redução do tamanho dos fornos.

Depois de criado o processo de pré-calcinação, várias modificações deste sistema foram desenvolvidas pelos grandes fabricantes de equipamentos. A FLSmidth (2013), fornecedor dinamarquês de equipamentos para cimenteiras, por exemplo, trabalha com três configurações de pré-aquecimento assim denominadas:

- Pré-aquecedor Suspenso (SP);

- Calcinador em Linha (ILC);
- Calcinador em Linha Separada (SLC).

A configuração SP é a configuração convencional e a mais simples das três. Ela é composta pelo pré-aquecimento via ciclones sem o pré-calcinador. Normalmente desenhado em uma linha única de ciclones, esta configuração é recomendada para sistemas com menor capacidade (FLSMIDTH, 2013).

Simple operação, alta confiabilidade e consumo otimizado de energia e combustível são as características da configuração de Calcinador em Linha (ILC). Sua construção é feita em linha com os ciclones de pré-aquecimento e o ar de combustão vem tanto do forno quanto do duto de ar terciário. A configuração ILC pode ser utilizada para as capacidades de produção atuais que podem ir até 12.000 ou mais toneladas por dia de clínquer. Ela é aplicável tanto em linhas simples como em linhas múltiplas de ciclones. Um exemplo de um sistema ILC pode ser visto na Figura 7 (FLSMIDTH, 2013).

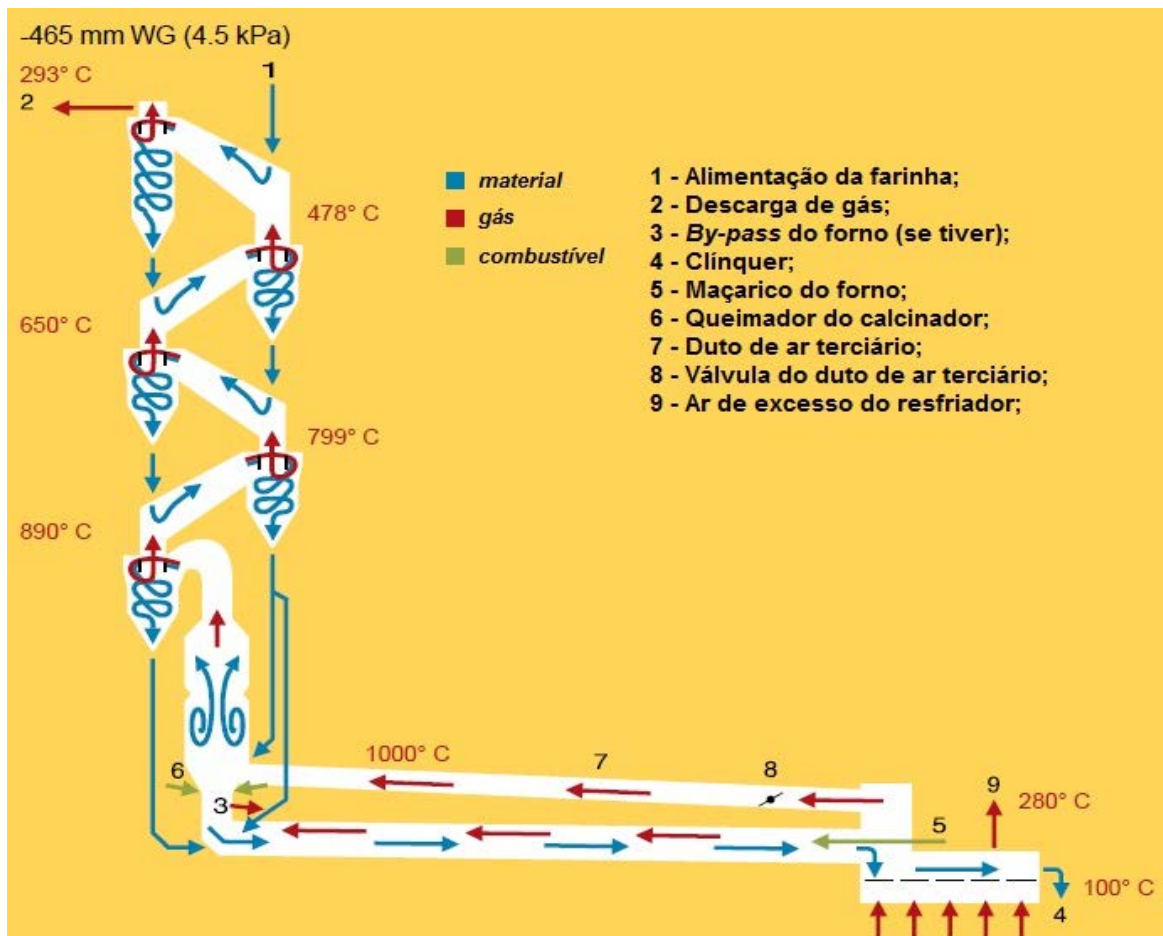


Figura 7 – Sistema de Pré-aquecimento com calcinador em linha (ILC).
Fonte: FLSmidth (2013).

Os Calcinadores em Linha Separada (SLC) são conhecidos também como calcinadores a ar, pois o ar de combustão é proveniente apenas do duto de ar terciário. Como seu nome já diz, eles são construídos separados da linha de pré-aquecimento de ciclones e tem dimensões reduzidas por não receber o ar do forno. Além das dimensões reduzidas do próprio pré-calcinador, sua construção separada permite que a torre seja menor que a configuração ILC, gerando maior custo benefício pelo tamanho da torre. A configuração SLC, assim como a ILC, pode ser aplicada em todas as capacidades de produção atuais e em linhas simples ou múltiplas de ciclones (FLSMIDTH, 2013).

Segundo a FLSmidth (2013), a configuração do pré-aquecimento com o pré-calcinador tem forte influência sobre a eficiência operacional. Existem alguns outros pontos que devem ser observados, além da configuração, para atingir a solução ótima de cada processo.

O primeiro ponto é a quantidade de estágios de pré-aquecimento ou ciclones. O número destes estágios é normalmente definido de acordo com os requisitos de secagem definidos pelo sistema de moagem da farinha. Outros pontos também tem influência neste número de ciclones como a utilização do gás após a saída do pré-aquecedor ou restrições de altura no local de instalação da torre (FLSMIDTH, 2013). No caso deste fabricante dinamarquês, a torre pode ter até seis estágios de ciclones para qualquer uma de suas configurações. Segundo a Polysius (2013) e a KDH (2013), outros dois fabricantes de soluções para fábricas de cimento, suas linhas de pré-aquecedores, DOPOL 90 e PYROCLON respectivamente, podem ter também até seis estágios dependendo da necessidade.

Um segundo ponto importante no dimensionamento dos sistemas de pré-aquecimento é o número de sequências de ciclones. Segundo a FLSmidth (2013), este número está relacionado diretamente a capacidade de produção da planta, ou seja, quanto maior a capacidade maior será o número de sequências de ciclones.

Esta relação pode ser vista na linha de soluções da empresa alemã KDH que oferece sistemas com diversas capacidades de produção. Uma sequência de quatro, cinco ou seis ciclones para fornos com capacidade de produção de 1500 a 5000 toneladas de clínquer por dia e sistemas com duas sequências de quatro, cinco ou seis ciclones para fornos com produção de 4200 a 10000 toneladas de clínquer por dia são sugeridas (KDH, 2013).

Além da quantidade de ciclones e quantidade de sequências de ciclones, as dimensões destes ciclones são, segundo a FLSmidth (2013), consideradas também um ponto importante no dimensionamento de um sistema de pré-aquecimento. Mais detalhes sobre os ciclones serão descritos no item 2.3.

A utilização de fornos menores com sistemas de pré-aquecimento nas plantas mais modernas de cimento trouxeram vários benefícios como já foi citado anteriormente. Apesar da economia de energia e da maior eficiência, estes sistemas tem uma desvantagem que é o acúmulo de materiais nas paredes dos ciclones. Estes materiais são chamados de constituintes voláteis e basicamente formados de potássio, cloro e enxofre. Os constituintes voláteis são formados pela evaporação de alguns materiais dentro do próprio forno e que vem a condensar nas paredes dos pré-aquecedores (KURDOWSKI; SOBOŃ, 1999).

Marti (2011) afirma que o fluxo de material é, em processos de via seca, um fator essencial e bloqueios por acúmulo de material podem causar vários problemas. Estes problemas podem trazer ao processo desde a diminuição da eficiência dos equipamentos até a parada completa de uma linha de produção. Esses acúmulos ou bloqueios causam o aumento do custo de manutenção e, apesar de várias plantas utilizarem o trabalho manual para retirada destes materiais, muitas plantas já investem em métodos eficazes para tratar deste problema.

Um método utilizado não só na torre de pré-aquecimento como também em várias outras aplicações na indústria do cimento são os canhões de ar. Vários destes canhões são normalmente dispostos no local de acúmulo de material e disparam, de forma temporizada, jatos de ar localizados ajudando no fluxo de material (SHELTON, 2011). Um exemplo dessa utilização pode ser visto na Figura 8 e na Figura 9.

Vários casos de sucesso dos canhões de ar são citados pela Martin (2013). Plantas ao redor do mundo como em Istambul na Turquia, Cuiabá no Brasil e Paulden nos Estados Unidos são alguns casos da Martin de aplicação dos canhões.



**Figura 8 – Canhões de ar em torre de pré-aquecimento.
Fonte: Martin (2013).**



**Figura 9 – Exemplo de canhões de ar em uma planta de cimento.
Fonte: Martin (2013).**

2.3 CICLONES

O ciclone, ou separador ciclônico, é um equipamento muito utilizado nas indústrias. Ele pode ser encontrado em diversas plantas como as de óleo e gás, de geração de energia, de incineração e nas cimenteiras. Encontrado de diversos tamanhos e formas, o ciclone tem a capacidade de separar materiais, sejam eles partículas sólidas ou líquidos, de um fluxo de fluido (SHALABY, 2007).

O design simples, o baixo investimento de capital e a quase ausência de manutenção fazem dele a escolha ideal quando comparado a outras tecnologias mais caras de separação de materiais dos gases como, por exemplo, filtros ou precipitadores eletrostáticos (FICICI; ARI; KAPSIZ, 2010).

Segundo Ficici, Ari e Kapsiz (2010) existem várias construções possíveis de ciclones, porém, a mais utilizada na indústria é a de ciclone com fluxo reverso exemplificado na Figura 10. As quatro partes principais deste tipo de ciclone são: Entrada, Câmara de Separação, Câmara de Pó e o *Vortex Finder* (tubo de saída).

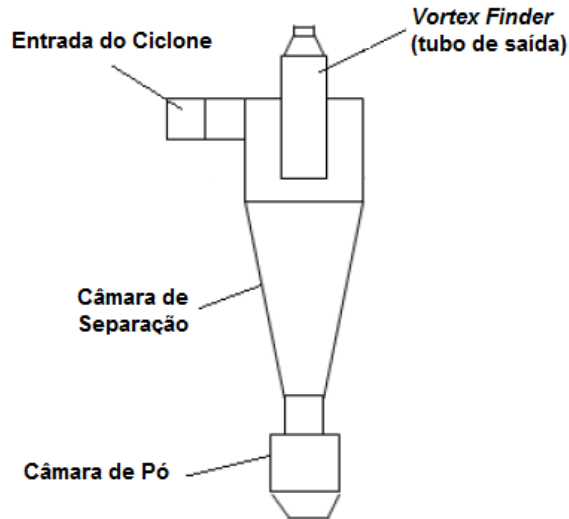


Figura 10 – Ciclone de fluxo reverso.
Fonte: Ficici, Ari e Kapsiz (2010).

Para explicar o método de separação que ocorre no ciclone, Wang (2004) divide, de maneira genérica, o corpo do ciclone em duas partes.

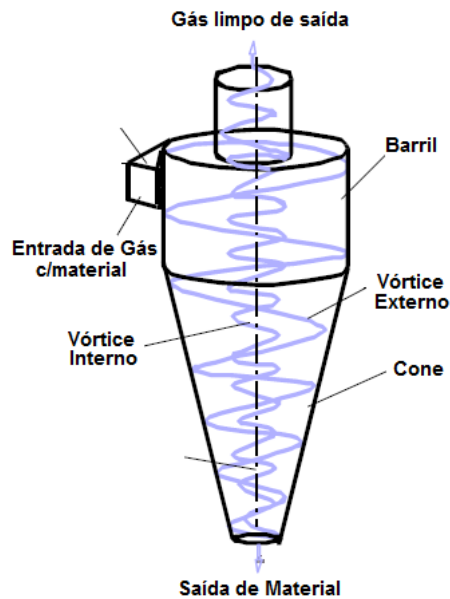


Figura 11 – Separação do material no ciclone.
Fonte: Wang (2004).

As duas partes do ciclone e os dois vórtices formados internamente podem ser vistos na Figura 11.

Conforme Wang (2004), a separação do material da corrente de ar é resultado da força centrípeta no material, resultada pelo aumento da velocidade da corrente de ar do vórtice externo. Desta forma, o ar que sai do ciclone pelo vórtice interno é limpo enquanto o material desce pela parte inferior do cone.

Teoricamente, segundo Rhodes (2008), existe um valor de diâmetro da partícula que define se ela será ou não separada pelo ciclone, chamado de diâmetro crítico da partícula para separação. Na prática, porém, existem alguns fatores como a flutuação da velocidade do gás e as interações das partículas entre elas que geram algumas partículas, rejeitadas pelo processo, com diâmetro maior que o crítico e algumas, separadas pelo ciclone, com diâmetro menor que o crítico. Esta situação pode ser vista na Figura 12. A curva de separação na prática tem normalmente um formato de curva S relacionando a eficiência à variação do tamanho da partícula, ao contrário da teórica que supõe que a eficiência do processo é variada apenas de acordo com o exato diâmetro crítico de separação da partícula (RHODES, 2008).

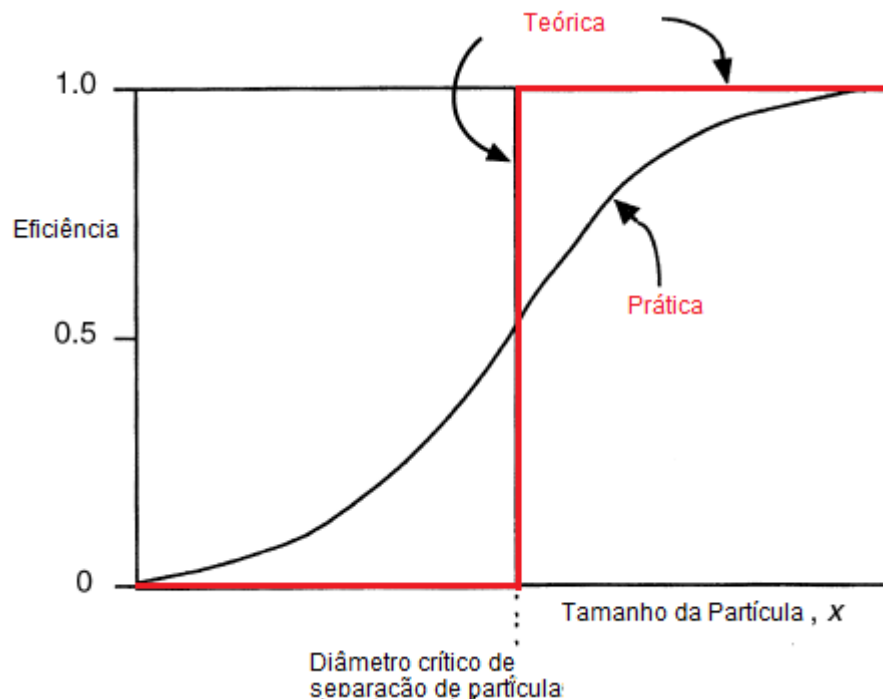


Figura 12 – Curvas da relação do diâmetro da partícula x eficiência do ciclone
 Fonte: Rhodes (2008).

O ponto que define quais as partículas que serão separadas pelo ciclone e quais seguem pelo processo é chamado de ponto de corte. O ponto de corte é um número que mede a eficiência de um ciclone e é definido pelo tamanho da partícula que terá 50% de chance de ser separado por este ciclone (RHODES, 2008).

O dimensionamento de um ciclone é, conforme Ficici, Ari e Kapsiz (2010), atrelado a dois parâmetros principais. O primeiro deles é a eficiência na coleta das partículas e o segundo é a queda de pressão no ciclone, definida pela diferença entre a pressão estática de entrada pela saída. Maiores velocidades de entrada no ciclone da mistura gás/material geram maior eficiência na coleta de partículas, porém, geram também um aumento na queda de pressão no ciclone. Ou seja, um balanço entre elas deve ser feito de acordo com a necessidade. Conforme a FLSmidth (2013), quanto maior a queda de pressão do ciclone, maior será o consumo de energia e custo operacional do ventilador de exaustão que faz com que os gases saiam do forno e passem pelas torre. Este ventilador, chamado de ventilador de tiragem induzida, é considerado o maior consumidor de energia da área do forno.

Esta relação entre a velocidade de entrada no ciclone, a eficiência dele e sua queda de pressão, segundo Rhodes (2008), não funciona para alta vazão na entrada. Quando na situação de alta vazão, a turbulência aumenta e causa a entrada novamente no processo de material que já fora separado, gerando assim um declínio da eficiência total do processo pelo aumento dessa vazão. Portanto, um intervalo de valores da vazão de ar de entrada deve ser definido para a operação ótima do ciclone. Valores acima deste intervalo então não teriam mais um aumento da eficiência com o aumento da queda de pressão e, valores abaixo deste intervalo representariam a baixa eficiência devido à baixa velocidade do ar interno, o que poderia resultar também na não formação de um vórtice estável. Esta situação pode ser vista na Figura 13.

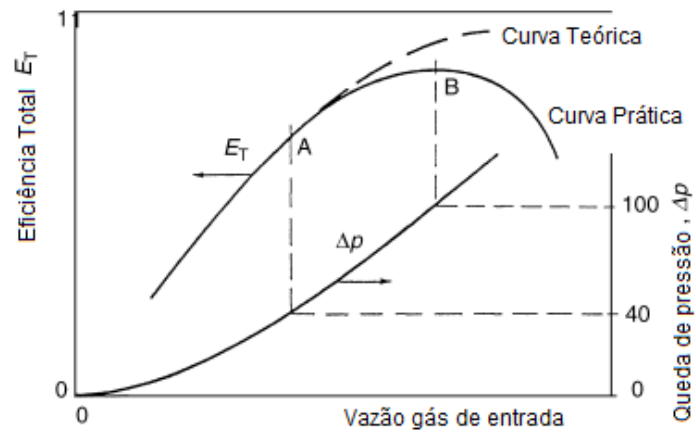


Figura 13 – Eficiência e queda de pressão x vazão gás entrada no ciclone. Fonte: Rhodes (2008).

3 INSTRUMENTAÇÃO WIRELESS

A década de 70 foi um período onde se presenciou o advento de baixos custos de aquisição e uso de dispositivos programáveis. Isso permitiu que estes dispositivos fossem incorporados aos instrumentos de campo e deu, a estes instrumentos, características que vão além da simples medição de sua variável primária. Essas novas características deram origem a um novo termo, os “instrumentos inteligentes” (EICHENLAUB, 1978).

Segundo Nobes (2004), os instrumentos inteligentes trouxeram vários benefícios. Alguns destes benefícios vieram devido ao fato de suas características, como a faixa de operação, serem configuráveis. Isso gerou, por exemplo, a facilidade de especificação e a redução de peças sobressalentes nos estoques. Outros benefícios vieram em função da própria modernização desses instrumentos como o autodiagnóstico e recuperação em caso de falhas e a facilidade de configuração por meio de dispositivos eletrônicos externos como *Handhelds*, conhecidos também por *Palmtops*.

Apesar dos inúmeros benefícios, Silva (2004) destaca que a maior evolução que a instrumentação inteligente trouxe foram as redes de comunicação para o controle destas informações, algo que começou com o HART e depois evoluiu para os barramentos de campo como o PROFIBUS e o FOUNDATION FIELDBUS. Ainda segundo Silva (2004), comparada a instrumentação convencional, quando a ligação é feita com cabos individuais e o tratamento apenas do sinal analógico 4-20 mA, a instrumentação em rede é bem vantajosa. Algumas destas vantagens são a possibilidade de manutenção preventiva através do próprio sistema, a disponibilidade de diagnósticos em qualquer ponto do sistema e a visualização e modificação de parâmetros dos instrumentos via rede.

Os avanços tecnológicos nos últimos anos ficaram por conta das redes sem fio. A chegada dessa tecnologia pode adicionar aos barramentos de campo benefícios como simplicidade de instalação, monitoramento de variáveis em pontos de difícil acesso e a melhoria da integridade física de instalações, por exemplo, em locais que usam cabos que podem ser rompidos ou estão expostos a ataques químicos (CASSIOLATO, 2011a).

Segundo Riego (2009), são duas as redes de comunicação sem fios, no nível de instrumentos de campo, mais expressivas no mercado da indústria de processo: o *WirelessHART* e a ISA100.11a. Uma visão geral de ambas as tecnologias são apresentadas nesta seção para fornecer subsídios para seleção e aplicação do caso de estudo deste trabalho.

3.1 WIRELESSHART

O *WirelessHART*, conforme Costa e Amaral (2012), foi o primeiro padrão sem fio de comunicação para controle de processo. Seu lançamento oficial aconteceu em Setembro de 2007 pela *HART Communication Foundation* (HCF).

O *WirelessHART* é um protocolo que teve como princípio em sua concepção adicionar funções sem fio ao já existente e conhecido protocolo HART, além de manter a compatibilidade com os dispositivos, comandos e ferramentas HART já existentes (HART COMMUNICATION FOUNDATION, 2013).

Segundo Chang e Guoguang (2012), o HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) nasceu nos anos 80 pela indústria estadunidense Rosemount. Seu objetivo era criar um protocolo confiável que pudesse transferir informações digitais bidirecionalmente entre um mestre e os dispositivos escravos dessa rede, neste caso, os instrumentos de campo inteligentes.

No HART via cabo a comunicação digital é sobreposta ao tradicional sinal analógico 4-20mA de controle sem que haja interferências. Essa sobreposição de sinais só é possível porque o protocolo HART utiliza como padrão o chaveamento por deslocamento de frequência, um sinal simétrico a zero sem componente contínua associada conforme pode ser visto na Figura 14 (SMAR, 2013).

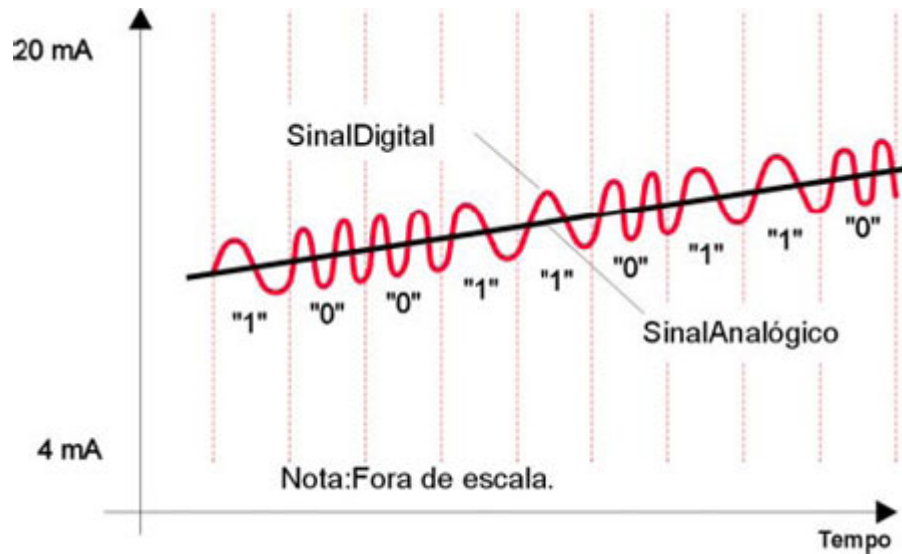


Figura 14 – Sinal HART sobreposto ao analógico 4-20mA.
Fonte: SMAR (2013).

Como a transmissão dos sinais pode ser sobreposta, o cabo para esta comunicação pode ser o mesmo. Este cabo pode ser o cabo normalmente utilizado em instrumentação, desde que sejam respeitados alguns valores limites de quantidade de instrumentos conectados neste cabo e o seu valor de capacitância (FONSECA, 2009). Com isso, os componentes básicos para uma rede HART são os instrumentos com HART disponível, o cabo de instrumentação, um módulo de entrada e saída com leitura de variáveis HART e o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) ou um CLP (Controlador Lógico Programável) para o tratamento das informações.

O HART, segundo Fonseca (2009), é um protocolo tipo mestre e escravo e possível de ser ligado tanto na topologia de rede ponto a ponto como na multiponto, como pode ser visto na Figura 15. Na primeira, que é a topologia mais usada, o sinal 4-20 mA mantém-se contínuo controlando a variável primária enquanto a comunicação mestre/escravo é feita de forma digital. Já na multiponto, limitada a 15 instrumentos de campo, o valor analógico é fixado no valor mínimo enquanto todo o controle e comunicação são feitos digitalmente.

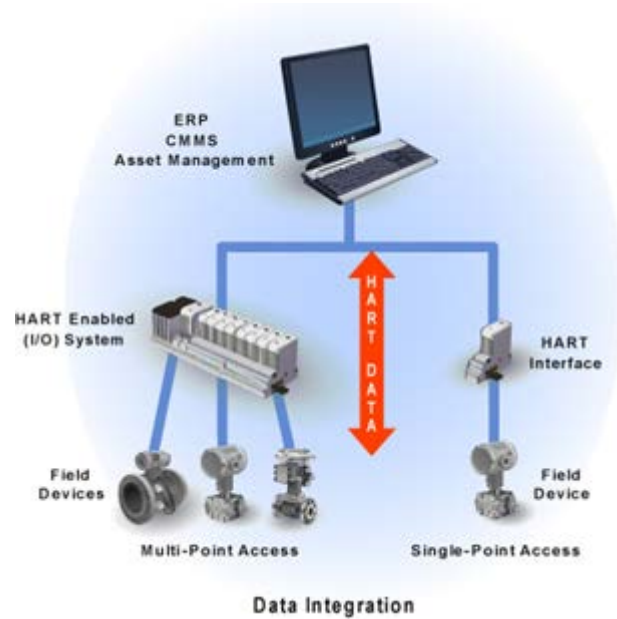


Figura 15 – Rede HART ponto a ponto e multiponto.
Fonte: HART Communication Foundation (2013).

Ao contrário do HART, o *WirelessHART*, sua versão sem cabo, utiliza uma topologia de rede chamada *mesh* que pode ser vista na Figura 16. Segundo Riego (2009), nas redes de comunicação do tipo *mesh*, também conhecidas como redes em malha, os dispositivos tem a capacidade de se comunicar com outros dispositivos próximos, independente de um comando de um dispositivo de controle central. Ou seja, os próprios instrumentos viram repetidores tornando a rede mais dinâmica, redundante e confiável ao criar várias rotas de comunicação.

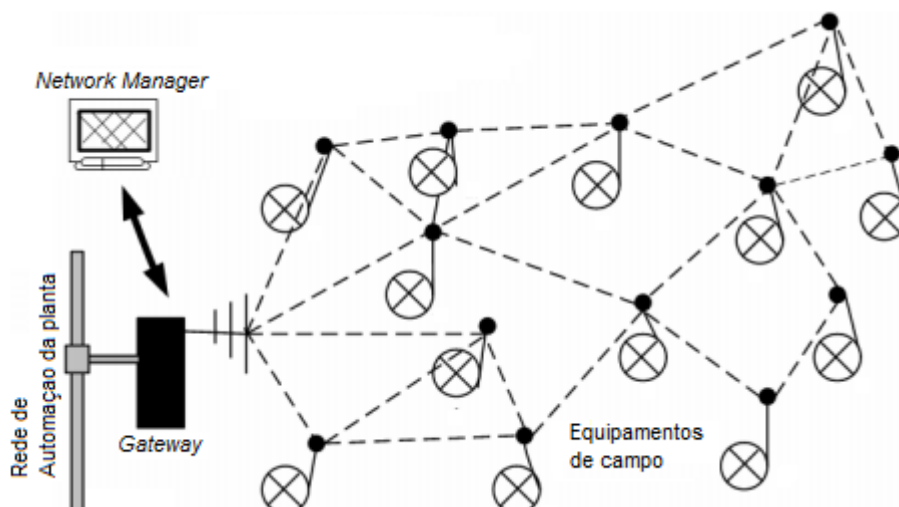


Figura 16 – *WirelessHART* – Topologia de rede *mesh*.
Fonte: Adaptado de Khader, Willig e Wolisz (2011).

O *WirelessHART* é regido pela norma internacional IEC 62591 e pode ser definido como uma tecnologia interoperável e auto-organizável em que seus dispositivos de campo são capazes de mitigar, de forma dinâmica, os obstáculos do ambiente de processo. Esta arquitetura possibilita ainda uma alternativa de automação com bom custo benefício por não necessitar de cabos ou qualquer tipo de estruturas adicionais (EMERSON, 2012).

Segundo Cassiolato (2011a), a estrutura básica de uma rede *WirelessHART* é, conforme já vista anteriormente na Figura 16, composta pelos seguintes elementos principais:

- Equipamentos de campo;
- *Gateways* - Equipamentos que permitem a comunicação entre equipamentos de campo e as aplicações de controle;
- *Network Manager* – Pode estar integrado no *Gateway*. Tem como função a configuração, o gerenciamento das rotas de comunicação e estado da rede.

Essa tecnologia trabalha na sua camada física conforme padrão 802.15.4 do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) na banda de frequência de 2.4 GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), uma das frequências definidas pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) como disponíveis para aplicações industriais, científicas e médicas. Segundo a ITU (2012), serviços de rádio comunicações trabalhando nestas bandas liberadas para aplicações ISM devem estar preparados para possíveis interferências causadas por estes dispositivos. Por outro lado, a própria ITU (2012) também cita que os fabricantes de produtos com aplicações ISM devem praticar ações para garantir que a radiação destes equipamentos fique em níveis tão baixos que, fora destas bandas, não interfiram em equipamentos de rádio comunicação.

Para garantir um sistema livre de interferências, o *WirelessHART* utiliza como um de seus métodos de transmissão o Espectro Espalhado por Salto de Frequências (FHSS). O FHSS consiste em dividir em vários canais de pequena largura de banda a banda total de transmissão, que neste caso, é uma banda muito maior do que a necessária para transmissão da informação. Assim, tanto o receptor quanto o transmissor saltam entre estes pequenos canais para conversarem. A vantagem deste método é que estes saltos não precisam ser sequenciais, ou seja, o transmissor e o receptor podem saltar de forma pseudoaleatória desde que ambos

conheçam esta sequência. Caso seja detectada interferência em algum canal durante os saltos, este poderá ser listado como um canal inutilizável em uma “lista negra” e evitado na comunicação (BONIFÁCIO; PANTONI; BRANDÃO, 2009).

Conforme a IEEE 802.15.4, na faixa de 2.4 GHz ISM são 16 canais disponíveis numerados de 11 a 26 e distanciados de 5 MHz entre canais, sendo o primeiro em 2.405 MHz (canal 11) e o último em 2.480 MHz (canal 26). Conforme Hahn (2011), o canal 26, por não ser permitido em alguns países, não é suportado pelo *WirelessHART*. Assim, 15 canais estão disponíveis conforme Figura 17.

Índice	Canal 802.15.4	Frequência (MHz)	Índice	Canal 802.15.4	Frequência (MHz)
0	11	2405	8	19	2445
1	12	2410	9	20	2450
2	13	2415	10	21	2455
3	14	2420	11	22	2460
4	15	2425	12	23	2465
5	16	2430	13	24	2470
6	17	2435	14	25	2475
7	18	2440	15	26	Não usado

Figura 17 – Canais disponíveis na faixa 2,4 GHz ISM do *WirelessHART*.
Fonte: Hahn (2011).

Caso não utilize o FHSS, o *WirelessHART* pode utilizar o Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS) como método de transmissão na sua camada física. Segundo Bonifácio, Pantoni e Brandão (2009), o DSSS espalha a informação ao longo uma larga faixa de frequência ao multiplicá-la por um sinal codificador chamado de *chip sequence* ou *pseudo-noise (PN-code)*. Como o *PN-code* é um sinal binário de frequência muito maior que o sinal de informação, ao realizar a codificação o sinal a ser trafegado ocupa uma maior banda de frequência. Segundo a IEEE 802.15.4, para frequência de 2.450 MHz DSSS o *PN-code* é composto de 32 bit conforme Figura 18. Essa combinação do FHSS com o DSSS garante ao *WirelessHART* tanto rejeição a interferência quanto ganho de codificação (SCHMIDT, 2010).

Data symbol	Chip values (c ₀ c ₁ ... c ₃₀ c ₃₁)
0	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0
1	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0
2	0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0
3	0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1
4	0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1
5	0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0
6	1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1
7	1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1
8	1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1
9	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1
10	0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1
11	0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0
12	0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0
13	0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1
14	1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0
15	1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0

Figura 18 – PN-code 32 bit para a frequência 2450 MHz DSSS.
Fonte: IEEE (2011).

Além das funções já citadas, conforme Cassiolato (2011), o *WirelessHART* conta na sua camada de enlace com o método de acesso chamado TDMA (*Time Division Multiple Access*). No TDMA, segundo Khader, Willig e Wolisz (2011), a comunicação entre nós acontece em um pequeno intervalo de tempo chamado *time slot*, neste caso fixo em 10 ms. Um conjunto de vários *time slot* forma um *superframe*. É de responsabilidade do *Network Manager* gerenciar e mandar para os dispositivos de campo a programação do *time slot* que cada um vai enviar ou receber informações. Além disso, no TDMA é importante que todos os dispositivos estejam na mesma base de tempo para que essa divisão funcione. Conforme Schmidt (2010), esta comunicação sincronizada com o tempo permite que a comunicação seja livre de colisões, com uso eficiente de energia e comunicação escalável.

Segundo Nobre (2011), a identificação dos endereços dos dispositivos em uma rede *WirelessHART* pode ser de duas formas. A primeira delas é o apelido, formado por 2 bytes e único para cada dispositivo dentro de uma mesma rede. Este apelido é fornecido pelo *Network Manager*. A outra forma é pelo endereço IEEE EUI-64 de 8 bytes.

Conforme o IEEE (2012), o identificador único estendido de 64 bits (EUI-64) é definido como a concatenação de duas partes, uma de 24 bits e a outra de 40 bits. A primeira parte do identificador, de 24 bits, é o *Organizationally Unique Identifier* (OUI) que, gerido por um braço da IEEE chamado de Autoridade de Registro (IEEE RA), identifica um fabricante associado com um número único. A segunda parte, de 40 bits, é gerada pelo fabricante associado para identificação do dispositivo. O objetivo é que cada dispositivo tenha seu identificador único, porém o IEEE não se responsabiliza por códigos duplicados já que a segunda parte não é de sua responsabilidade.

Com relação à segurança dos dados, o *WirelessHART*, segundo Lennvall, Svensson e Hekland (2008), utiliza três chaves de segurança. A primeira delas, chamada de chave de acesso (*join key*), é utilizada para autenticar a entrada de um dispositivo em uma determinada rede *WirelessHART*. Ao acessar a rede, o *Network Manager* fica responsável por fornecer a este dispositivo as outras duas chaves chamadas de chave de sessão (*session key*) e chave de rede (*network key*) quando necessárias.

Ainda segundo Lennvall, Svensson e Hekland (2008), a chave de sessão é utilizada na camada de rede para a comunicação entre dois dispositivos diferentes de ponta a ponta, sendo ela diferente para cada par de dispositivos. Conforme Emerson (2013), a chave de sessão garante confidencialidade e integridade da informação que sai da fonte até o seu destino. A terceira chave, a chave de rede, é compartilhada para toda a rede. Ela é utilizada para criptografar as transmissões de mensagem ponto a ponto na camada de enlace de dados. Tanto a chave de acesso quanto às chaves de sessão e rede são chaves criptografadas de 128 bits simétricas conforme algoritmo Advanced Encryption Standard (AES) (EMERSON, 2013).

O AES é uma norma publicada em 2001 pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) dos Estados Unidos. Esta norma especifica um algoritmo de criptografia utilizado para proteção de informações eletrônicas. Ele criptografa ou tira a criptografia de blocos de 128 bits através de uma série de transformações por uma chave secreta que pode ser de 128, 192 ou 256 bits (NIST, 2001).

O NIST dos Estados Unidos é uma agência de tecnologia que faz parte do Departamento de Comércio dos Estados Unidos. Fundada em 1901 e inicialmente criada para colocar o país em um nível de competitividade industrial com outras grandes potências, hoje ela tem como objetivo tomar medidas para apoiar o

desenvolvimento da tecnologia do país. Seu foco pode ser desde dispositivos muito pequenos, como os provenientes da nanotecnologia, até itens de grande porte, como, por exemplo, aviões e comunicações globais.

Segundo a HART Communication Foundation (2013), a lista de produtos e sistemas que utilizam o *WirelessHART* em seus produtos conta com aproximadamente 40 linhas. Nesta lista existem opções de instrumentos para medição de temperatura, pressão, fluxo, nível, vibração, transmissores de sinais discretos, transmissores de sinais analógicos, adaptadores para instrumentos HART cabeados e *gateways*. Estes produtos estão distribuídos em vários fabricantes como a Emerson, ABB, Phoenix Contact, Siemens, Endress+Hauser, Pepperl+Fuchs. Conforme Pereira (2012), a SMAR também faz parte deste quadro de fornecedores de produtos com a tecnologia *WirelessHART*.

3.2 ISA100.11A

A Sociedade Internacional de Automação (ISA) é uma organização global e sem fins lucrativos criada nos Estados Unidos no ano de 1945. Com aproximadamente 30 mil membros pelo mundo, a ISA tem como missão permitir que estes membros, formados por especialistas, fornecedores e usuários possam trabalhar juntos para desenvolver um trabalho de alta qualidade relacionado a automação que incluem padrões, treinamentos, publicações e certificações (ISA, 2013).

O Brasil está dentro do distrito 4 da organização, o terceiro maior entre os 14 existentes. O distrito 4 envolve os países da América do Sul (Brasil, Argentina, Chile, Peru, Equador, Colômbia e Venezuela) e Trinidad & Tobago da América Central. O distrito 4, que é dividido em 19 Seções Profissionais e 19 Seções Estudantis, tem sede em São Paulo e conta com cerca de 2.800 profissionais (ISA DISTRITO 4, 2013).

Para a discussão das normas que envolvem os diversos itens relacionados à automação, a ISA cria vários comitês e subcomitês. O comitê ISA100 é o responsável por discutir sobre os sistemas sem fio aplicados a automação. Conforme a própria ISA (2013), o propósito do ISA100 é estabelecer normas,

melhores práticas, relatórios técnicos e relacionar informações para definir tecnologias, procedimentos e critérios para aquisição e uso de sistemas sem fio no ambiente de automação e controle focado no nível de campo.

Ainda segundo a ISA (2013), o trabalho em conformidade com as orientações do comitê ajuda a identificar no sistema vulnerabilidades e resolvê-las, reduzindo assim os riscos de degradações e insucessos em nos sistemas de controle e melhorando a confiança, integridade e disponibilidade deles.

Conforme Costa e Amaral (2012), o primeiro padrão desenvolvido pela ISA 100 foi o ISA100.11a, que descreve uma rede sem fio segura em malha para o controle de processos. Na Figura 19 é possível ver um exemplo de rede de acordo com este padrão.

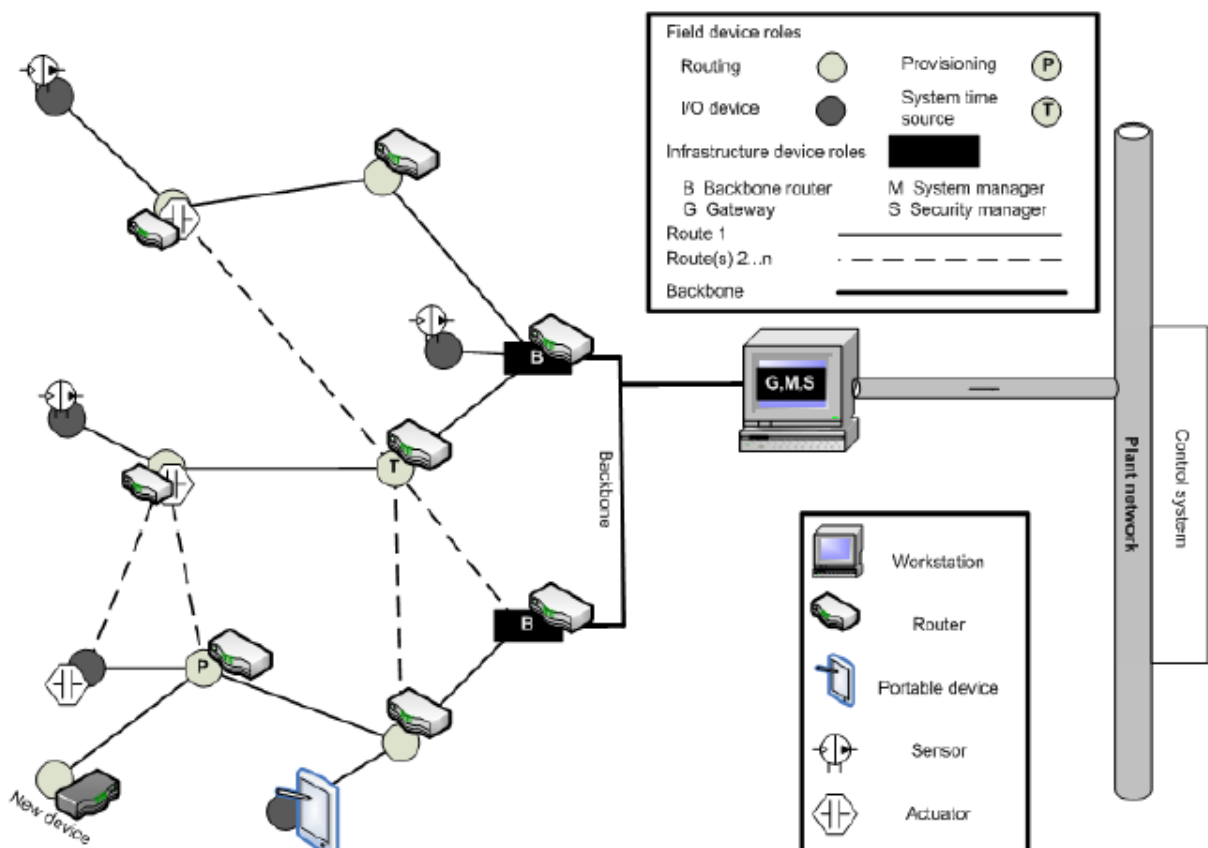


Figura 19 – Rede sem fio conforme padrão ISA100.11a.
Fonte: ISA (2011).

O padrão ISA100.11a utiliza para camada física, assim como o *WirelessHART*, a norma internacional IEEE 802.15.4 operando na banda de frequência 2.4GHz ISM com tecnologia de Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS).

Os dispositivos básicos necessários para o funcionamento da rede não são especificados pelo padrão da ISA. O ISA100.11a defende que existem, dependendo da aplicação, ambiente e funcionalidade, muitos dispositivos diferentes. Portanto, a solução para descrever o comportamento de uma rede sem utilizar dispositivos específicos é definindo um conjunto de funções e capacidades necessárias para a existência e operação de uma rede. A condição então para que o dispositivo esteja em conformidade com padrão é que tenha e execute pelo menos uma das oito funções deste padrão. As funções são descritas sequencialmente, mas isso não implica que os números ou a ordem aqui apresentadas tenham alguma relação com alguma ordenação ou sequência do padrão ISA100.11a.

A primeira função é, conforme o padrão, a *Input/Output (I/O)*. O objetivo da função I/O é de fornecer dados a outros dispositivos ou utilizar informações de outros dispositivos. A não existência de nenhum tipo de característica de roteamento faz da função I/O a função mais simples da rede descrita pela ISA100.11a, além de gerar uma grande economia de energia com os dispositivos que detém apenas essa função.

A segunda função descrita no padrão ISA100.11a é a função *Router*. Como diz seu nome, seu objetivo é realizar o roteamento de dados além da capacidade de propagar a sincronia de tempo. O roteamento é a base das redes *mesh* sem fio já que aumentam a extensão da rede e geram os caminhos redundantes de comunicação.

Ao contrário do *WirelessHART* que exige que todos seus dispositivos de campo sejam necessariamente roteadores, é possível ver, através destas duas primeiras funções, que o padrão ISA100.11a permite a existência de dispositivos de campo na rede que não sejam capazes de rotear dados. Conforme Petersen e Carlsen (2011), isso permite que no padrão ISA100.11a sejam adotadas, além da topologia *mesh*, as topologias estrela e estrela-*mesh*. Na Figura 20 temos exemplificadas essas topologias estrela, estrela-*mesh* e *mesh* representadas pelas letras (a), (b) e (c) respectivamente.

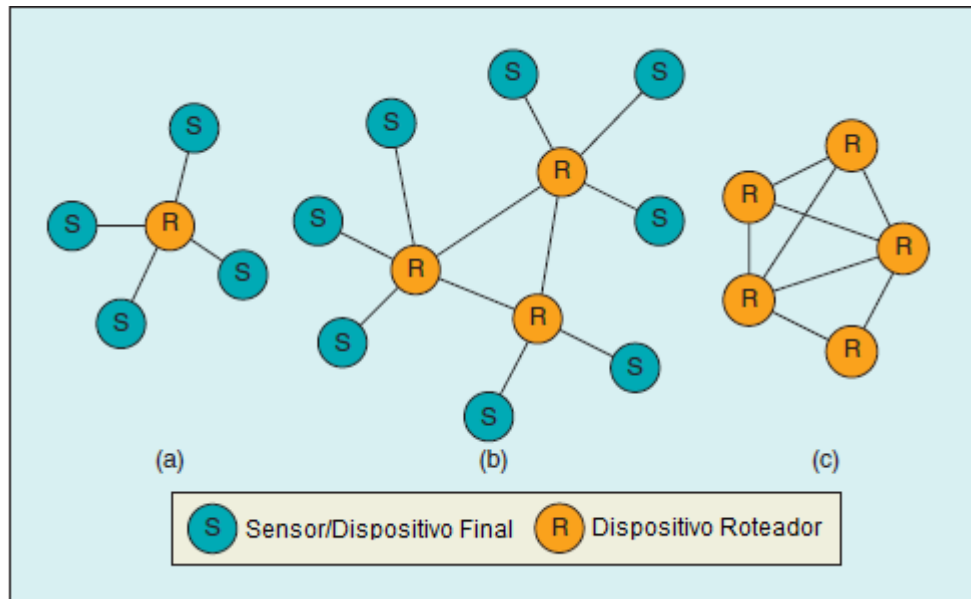


Figura 20 – Topologias estrela, estrela-mesh e mesh no padrão ISA100.11a.
 Fonte: Adaptado de Petersen e Carlsen (2011).

A terceira função especificada conforme o padrão ISA100.11a é a *Provisioning*. A *Provisioning* tem como objetivo permitir aos dispositivos que detenham essa função prover acesso de novos dispositivos a rede. Segundo Riego (2009), para realizar esta provisão, os dispositivos devem conter as diretrizes e funções necessárias de segurança, além de validar e informar o sistema de gerenciamento sobre a entrada do novo equipamento na rede.

Já o *Backbone router* (quarta função do padrão da ISA) é, conforme Riego (2009), a função responsável por fazer o roteamento da rede. A diferença para a função *Router* é que o *Backbone router* coleta os sinais da rede e pode direcionar para, além do próprio *Gateway*, outras sub-redes quando existentes.

O *Gateway* também é uma função especificada pelo padrão ISA100.11.a. Um dispositivo dotado desta função é responsável pela interface entre a rede sem fio industrial e a rede industrial de controle utilizada na planta. Devido a esta função de interface, o padrão exige que um dispositivo que agrega a função *gateway* deve necessariamente agregar também ou a função *Router*, caso ele se comunique direto com um dispositivo roteador de campo, ou a função *Backbone router* quando da existência de sub-redes.

Dentre as funções descritas na ISA100.11a como necessárias para a rede sem fio, o *System manager* pode ser considerada uma das funções mais importantes, se não a mais importante delas. Conforme o padrão, esta é uma função

específica que faz a gestão de toda a rede, dos dispositivos dela e das comunicações. Entende-se por esta gestão da rede as subfunções:

- Adição e retirada de dispositivos da rede;
- Monitoramento de desempenho, da segurança e dos dispositivos;
- Configuração da comunicação e da segurança da rede;
- Configuração e sincronização dos tempos dos dispositivos;
- Otimização e reporte de falhas.

Faz-se necessário, conforme orientação do padrão da ISA, que os dispositivos com o *System manager*, assim como no *Gateway*, também carreguem ou a função *Router* ou a função *Backbone router* quando da existência de sub-redes.

A função *Security Manager*, penúltima das oito funções da ISA100.11a, tem como objetivo basicamente a proteção dos dados em trânsito na rede. Para realizar esta proteção, a *Security Manager* tem como principais tarefas a autorização de comunicação segura entre dispositivos, a garantia de autenticidade da mensagem que sai do transmissor e chega ao receptor, o tempo de entrega da mensagem dentro dos limites previstos, a confidencialidade dos dados e a proteção contra ataques na rede. O padrão em nenhum momento referencia a função *Security Manager* outros tipos de segurança além destes citados como, por exemplo, a segurança de dados armazenados em banco de dados ou cópias de segurança (*backup*) ou a segurança física em si de dispositivos.

A última função descrita para dispositivos no padrão da ISA é a *System time source*. O padrão cita que seu objetivo é prover senso de tempo para todo o sistema. É necessário que em uma rede exista pelo menos um dispositivo com a função *System time source* e este deve ser a referência principal de tempo. Além de conter a função *System time source*, o dispositivo deve necessariamente agregar outra função simultaneamente. Esta outra função pode ser a função I/O, *Router*, *Backbone router*, *System manager* ou *Gateway*.

A base temporal utilizada no padrão ISA100.11a é o Tempo Atômico Internacional (TAI). Apesar do padrão não exigir que as redes também utilizem o TAI para estar em conformidade com ele, a base temporal dessa rede deve ter margem dentro de um segundo, para mais ou para menos, do TAI.

O TAI, segundo o Escritório Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) (2013), é uma escala de tempo calculada pelo próprio BIPM com base em dados de

duzentos relógios atômicos espalhados por 50 laboratórios ao redor do mundo. A estabilidade em longo prazo do TAI é garantida com base em criteriosas ponderações destes relógios atômicos, os quais medem a frequência de oscilação do elemento césio. Como o TAI é uma escala estável e uniforme, ao contrário da rotação do planeta Terra, o Tempo Universal Coordenado (UTC) foi criado para suprir a necessidade da escala de tempo que utilizamos no meio civil. O UTC é baseado no TAI e praticamente igual a ele, tirando o fato que ele anualmente pode ser ajustado para corrigir a não uniformidade da rotação da Terra em relação ao Sol e o meio dia com a posição do Sol no meridiano de Greenwich.

Conforme o padrão, quando algum dispositivo de campo da rede tem a necessidade de converter o TAI para o horário no formato de horas, minutos e segundos como, por exemplo, em uma tela com interface de usuário, o dispositivo com a função *System manager* deve ser o responsável por fornecer este ajuste. Já a conversão TAI da rede com alguma fonte de tempo externa, de acordo com o padrão, deve ser feito pelo dispositivo com a função *Gateway*.

A função *System time source* é muito importante porque, assim como o *WirelessHART*, o padrão ISA100.11a, segundo Costa e Amaral (2012), também utiliza o TDMA como meio de acesso na camada de enlace. A estrutura de *superframe* do padrão da ISA também é semelhante, porém, conforme o próprio padrão, os *time slot* que compõe o *superframe* neste caso tem duração configurável e não o valor fixo de 10 ms.

Com relação à proteção contra possíveis interferências de outros dispositivos trabalhando na mesma frequência, o padrão ISA100.11a especifica a requisição automática de repetição (ARQ) e, igualmente ao *WirelessHART*, o salto de canais (*Channel hopping*). A ARQ trata, conforme o padrão, de um método para controle de erros em transmissões de informação. Ele utiliza a confirmação de recebimento quando uma mensagem é trocada com sucesso entre dispositivos e, caso esta confirmação não venha, a retransmissão de mensagem é feita.

Tratando-se do salto de canais, o padrão da ISA especifica a possibilidade de colocar canais, que tiverem problemas de transmissão, em uma lista negra (*Channel blacklist*) assim como o *WirelessHART*. Porém, conforme Petersen e Carlsen (2011), os dois padrões se diferenciam em alguns pontos do salto de canais. A ISA100.11a define cinco padrões de salto pré-programados que devem ser suportadas por qualquer dispositivo, diferente do *WirelessHART* que, segundo ele,

não define especificamente um padrão de salto apenas citando que isso é de responsabilidade do *Network manager* quando um dispositivo é inserido na rede. O padrão da ISA também difere do HART sem fio no quesito método de operação, pois possibilita três métodos de salto de canais configuráveis pelo dispositivo *System manager* para cada dispositivo da rede. São eles: *Slotted hopping*, *Slow hopping* e o modo Híbrido que mistura as duas anteriores. Estes três métodos podem ser vistos nas Figura 21, Figura 22 e Figura 23 respectivamente.

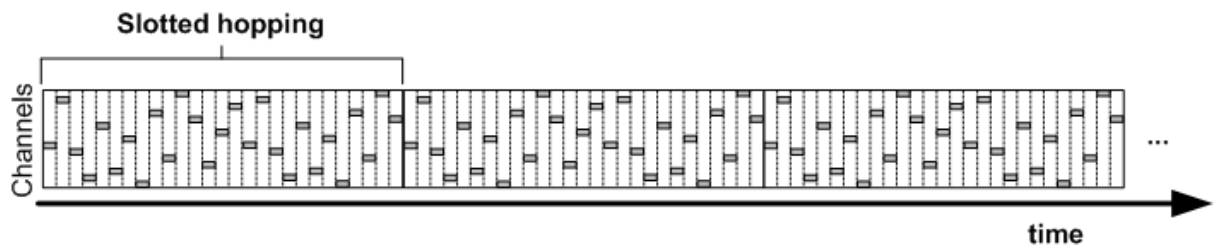


Figura 21 – Método *Slotted hopping* de salto de canais.
Fonte: ISA (2011).

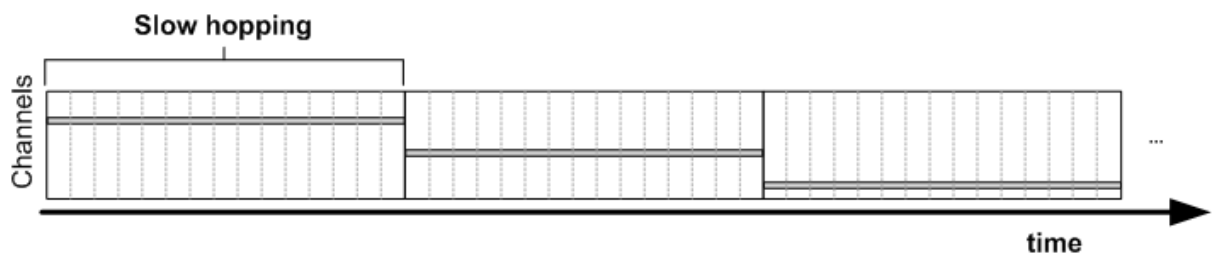


Figura 22 – Método *Slow hopping* de salto de canais.
Fonte: ISA (2011).

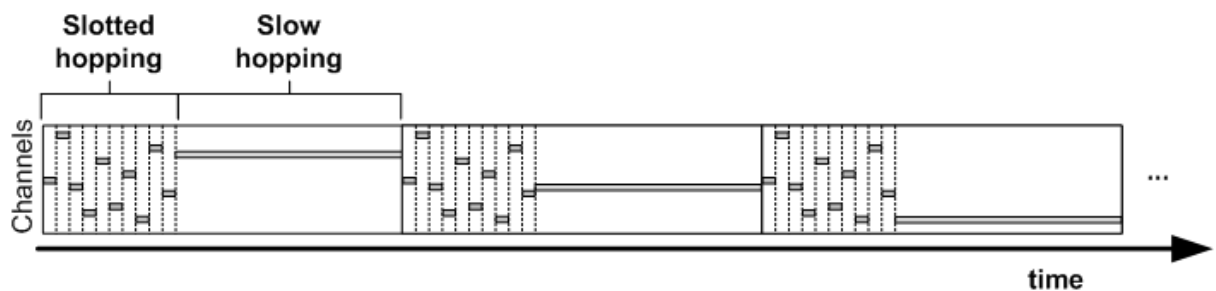


Figura 23 – Método híbrido de salto de canais.
Fonte: ISA (2011).

No modo *Slotted hopping*, segundo o padrão, os *time slot* tem igual duração e frequência diferente conforme um modelo de salto sendo que cada um destes intervalos de tempo acomodam uma transação e sua confirmação de recebimento.

Já no modo *Slow hopping*, vários *time slot* são agrupados em uma única frequência, tratados como um período único de salto de tempo configurável pelo *System manager*. Períodos longos podem ser utilizados com dispositivos que tem imprecisão na sincronização do tempo ou dispositivos que perderam contato com a rede temporariamente.

O modo Híbrido mistura as duas formas conforme já citado anteriormente.

Conforme Bourke (2007), essa flexibilidade no modo de trabalho aliado a ao *time slot* de duração variável, permitem ao padrão ISA100.11a ter, em uma mesma rede, diferentes configurações de dispositivos. Estas configurações variam desde dispositivos que transmitem informações periodicamente e necessitam de sincronização de tempo até dispositivos que transmitem informações esporadicamente e permanecem grande parte do tempo inativos.

Os dispositivos no padrão ISA100.11a são identificados de três formas. Conforme o próprio padrão, todos os dispositivos tem seu identificador EUI-64, que se presume que seja único vindo de fábrica, um apelido que é o endereço de 16 bits utilizado na camada de enlace de dados e o endereço da camada de rede de 128 bits.

Tanto o identificador EUI-64 quanto o endereço curto de 16 bits na camada de enlace se assemelham ao que existe no *WirelessHART*. O EUI-64, porém, segundo padrão da ISA, é utilizado apenas para troca de mensagens quando um novo dispositivo está ingressando na rede. Ao ingressar, este novo dispositivo recebe do *System manager* os outros dois endereços.

O terceiro identificador de 128 bits, conforme Costa e Amaral (2012), vem do fato da camada de rede do padrão ISA100.11a abranger não só a rede de nível em malha como o *WirelessHART*, mas também o nível de *backbone* baseando-se no documento RFC 4944 do IETF (*Internet Engineering Task Force*).

O IETF é uma comunidade internacional aberta formada por desenvolvedores, operadores, vendedores e pesquisadores preocupados com o futuro e bom funcionamento da internet. Esta comunidade é dividida em diversos grupos de estudo, um deles o 6lowpan que estuda a aplicação do Protocolo de Internet versão 6 (IPv6) em redes de área pessoal sem fio (WPAN) de baixa potência. O documento RFC 4944 trata especificamente da transmissão de pacotes em IPv6 em redes baseadas na IEEE802.15.4, que é o caso dos dois padrões que estamos analisando (IETF, 2013).

Segundo o padrão da ISA, o endereço curto de 16 bits é utilizado para comunicação na camada de enlace por utilizar menos energia e menor largura de banda. Já o endereço de 128 bits é focado para pontos finais de aplicação e redes no *backbone*. A responsabilidade de conversão entre um tipo de endereço e outro fica com a camada de rede do *Backbone router*.

Com relação a segurança, o padrão ISA100.11a, segundo Petersen e Carlsen (2011), também define chaves para garantir a comunicação segura. Estas chaves são a chave de acesso (*join key*), a chave da camada de enlace (*DL key*), a chave de sessão (*session key*) e a chave mestre (*master key*).

A chave de acesso é, assim como no *WirelessHART*, utilizada ao autenticar novos dispositivos ao entrar em uma rede específica. Assim que adicionado à rede, o dispositivo com a função de *security manager* é então o responsável por entregar as outras chaves de comunicação a este novo dispositivo. No o padrão da ISA, no entanto, a utilização desta chave é opcional já que o processo de entrada de novos dispositivos pode ser feita por uma chave global e conhecida, sem garantias de segurança (PETERSEN; CARLSEN, 2011).

As chaves da camada de enlace e a chave de sessão são utilizadas para criptografar ou autenticar mensagens na camada de enlace e camada de transporte respectivamente (ISA, 2011). No caso do padrão da ISA, porém, o uso da chave de sessão é opcional, conforme Nixon (2012).

Já a chave mestre, conforme o padrão ISA100.11a, é utilizada para a comunicação entre um dispositivo e o dispositivo com a função de *security manager*. Esta chave, assim como a chave de camada de enlace e a chave de sessão, expira com o tempo e precisa de atualização periódica. Estas três chaves e a chave de acesso são chaves simétricas e devem ser de 128 bits. Conforme Petersen e Carlsen (2011), ela são, assim como no *WirelessHART*, criptografadas conforme padrão AES.

Segundo ISA100 (2013), o ISA100.11a conta com uma lista de 26 linhas e sistemas que utilizam esse padrão. A lista é composta basicamente por transmissores de temperatura, pressão, posição de válvula, transmissores de sinais discretos e/ou analógicos, adaptadores para instrumentos HART cabeados, pontos de acesso e *gateways* distribuídos em fabricantes como a Honeywell, a Yokogawa e a General Electric (GE).

3.3 O MERCADO DOS DISPOSITIVOS SEM FIO

O interesse do mercado nos equipamentos sem fio vem crescendo rapidamente nas indústrias de processo. A padronização de protocolos confiáveis sem fio em nível de dispositivo como, por exemplo, o *WirelessHART* e o *ISA100.11a* tem tornado a tecnologia sem fio mais atraente a consumidores potenciais (ARC, 2012).

Um estudo, conforme dados da ARC Advisory Group (2012), tem mostrado uma tendência no crescimento, pelo menos até 2016, do uso de dispositivos sem fio nas indústrias de processo pelo mundo, vista na Figura 24.

Fundada em 1986, a ARC Advisory Group é um grupo de pesquisa de tecnologia e consultoria em temas industriais, entre eles a automação. Com mais de 70 profissionais espalhados em escritórios nos Estados Unidos, Alemanha, França, Japão, Índia China e Brasil, a ARC tem diversos clientes como a ABB, Siemens, Emerson, Yokogawa, Rockwell Automation e Schneider Electric (ARC, 2013).

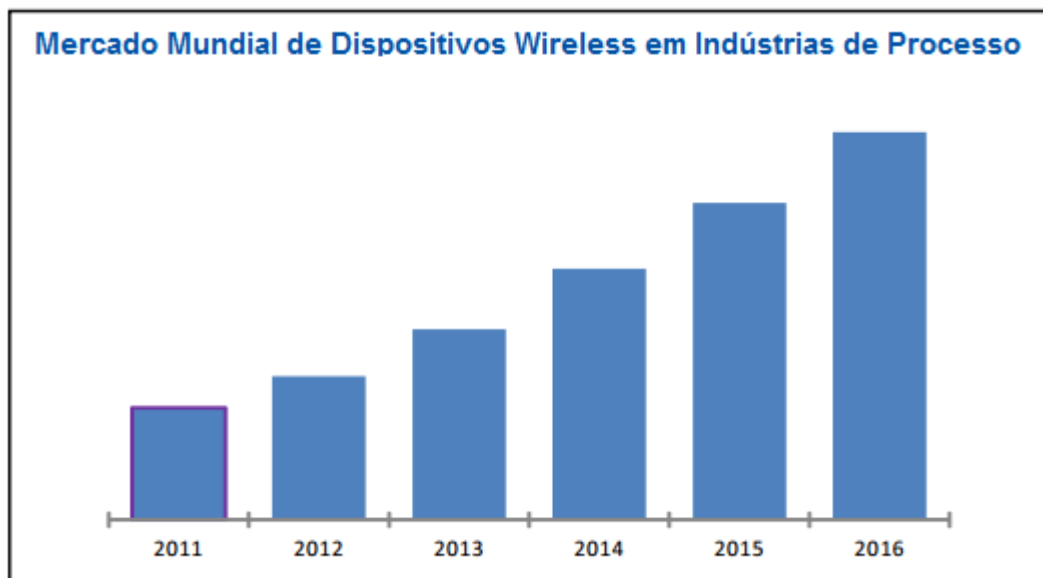


Figura 24 – Tendência do mercado *wireless* em indústrias de processo.
Fonte: Adaptado de ARC (2012).

Conforme Colquhoun (2011), um crescimento médio de 18% por ano de 2009 até o final de 2015 é estimado para o mercado industrial sem fio. Este valor é

consideravelmente maior que o crescimento de normal de 5 a 8% em produtos para automação industrial. A estimativa é que em 2015 sejam em torno de três milhões das unidades produzidas como pode ser visto na Figura 25.

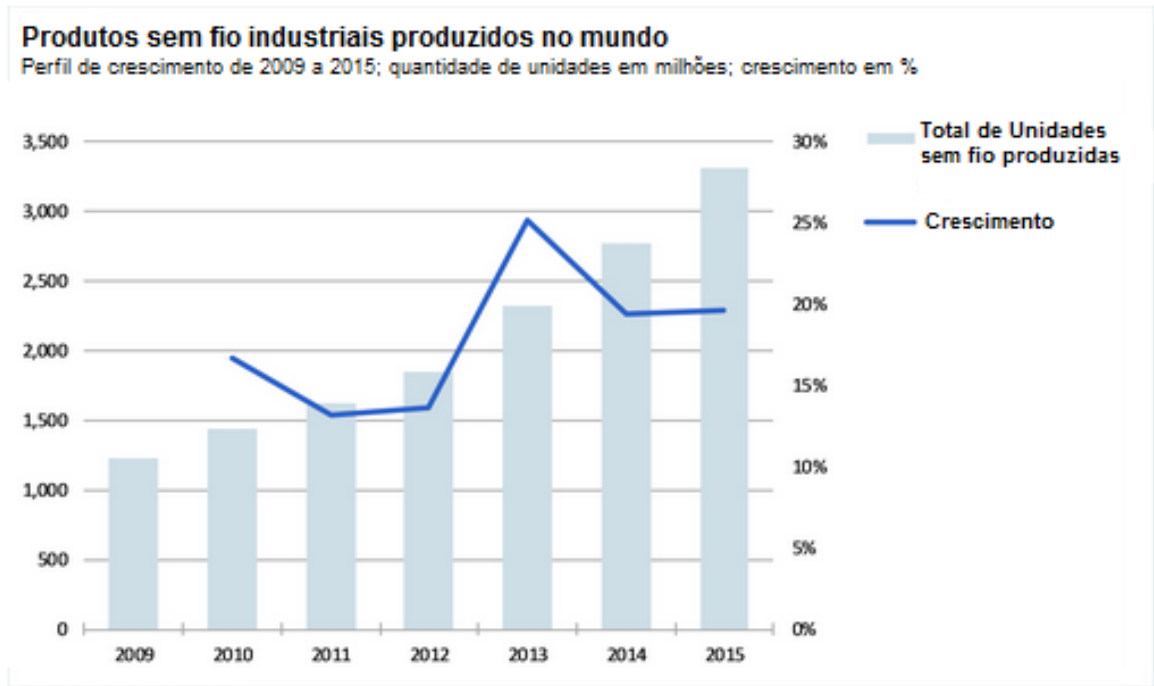


Figura 25 – Estimativa de crescimento de dispositivos sem fio no mundo.
 Fonte: Adaptado de Colquhoun (2011).

Estes valores são baseados em uma pesquisa da IMS Research, uma empresa especializada em pesquisas de mercado e consultoria para indústrias de eletrônicos. A IMS Research faz parte de da divisão de eletrônicos e mídia do grupo IHS (IMS, 2013).

A IHS, fundada em 1959, tem mais de 5500 funcionários divididos em 30 países no mundo. Especializada em fornecer informações e análises para que empresas tomem decisões de alto impacto e desenvolvam estratégias rápidas e eficientes, a IHS tem clientes como empresas e governos em 165 países (IHS, 2013).

Apesar do bom crescimento da tecnologia sem fio, a maior parte dos dispositivos vai continuar sendo ligada por fibras e cabos de cobre. O número de três milhões de dispositivos em 2015 pode parecer grande, mas representará apenas 1,5% do total de 200 milhões de dispositivos de rede produzidos (COLQUHOUN, 2011).

O motivo para a aparente baixa penetração dos dispositivos sem fio na indústria, segundo Colquhoun (2011), se deve aos tipos variados de indústria existentes. Com o contínuo crescimento do preço do cobre, as indústrias de processo, que normalmente são grandes por natureza, têm encontrado opções atrativas e com bom custo benefício quando comparadas a instalações com cabo. Já nas indústrias baseadas em automação discreta, a distâncias para conexão de máquinas costumam ser menores e, portanto, este custo benefício acaba não aparecendo. Esta diferença da penetração dos dispositivos sem fio nas indústrias de processo e nas indústrias discretas pode ser vista na Figura 26.

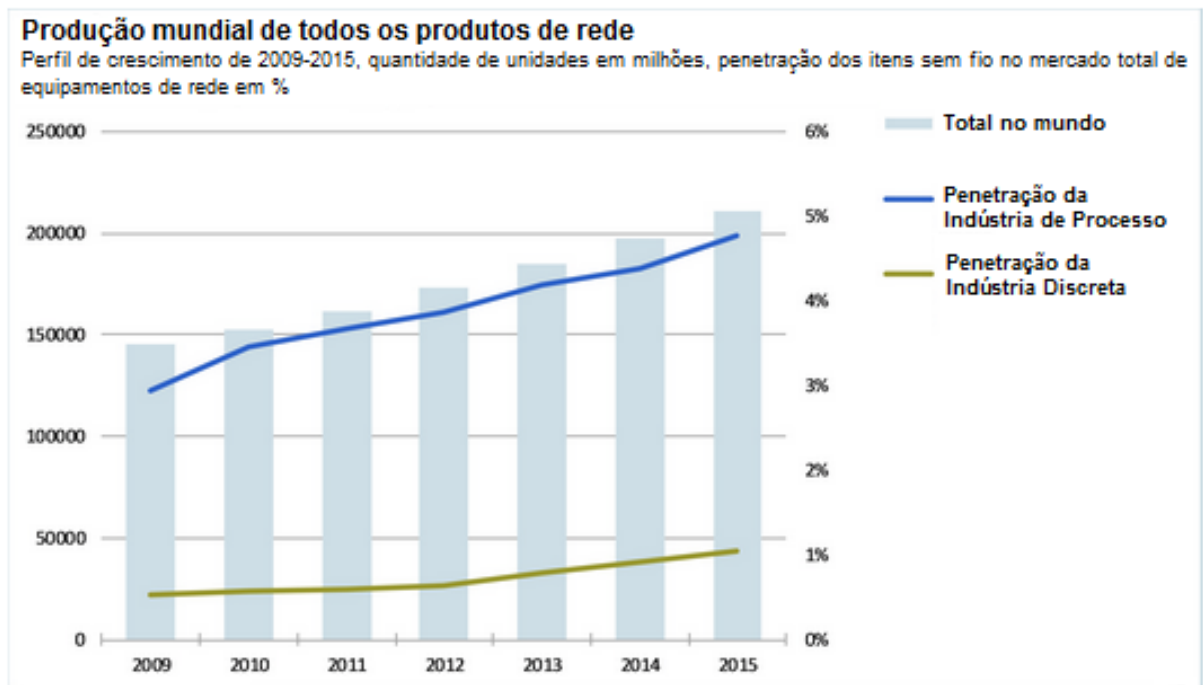


Figura 26 – Diferença de crescimento na indústria de processo e discreta.
 Fonte: Adaptado de Colquhoun (2011).

Para compreender a divisão de mercado por tecnologia de equipamentos em fio, faz-se necessário entender onde cada uma destas tecnologias atua de forma mais incisiva. Segundo Ghayum (2010), as oportunidades de utilização de tecnologias sem fio em um sistema de controle distribuído podem ser divididas em três níveis.

O primeiro nível, conforme representação da Figura 27, engloba as ligações dos instrumentos de campo sejam elas as ligações deles até os controladores ou as ligações dos controladores até seus atuadores em campo.

Comparado a estações de trabalho, os instrumentos de campo e os atuadores gastam muito menos energia por serem menos complexos. Por este motivo, neste nível se destacam alguns protocolos como o *WirelessHART* e o padrão ISA100.11a, o Zigbee e o Bluetooth (GHAYUM, 2010).

O Bluetooth, porém, consome mais energia que os protocolos baseados na IEEE802.15.4 e seu uso é, segundo Ghayum (2010), sugerido para substituições de instalações que utilizem comunicações seriais ou a Ethernet em pequenas distâncias. A utilização do Bluetooth pode ser classificada, portanto, entre o primeiro e segundo nível.

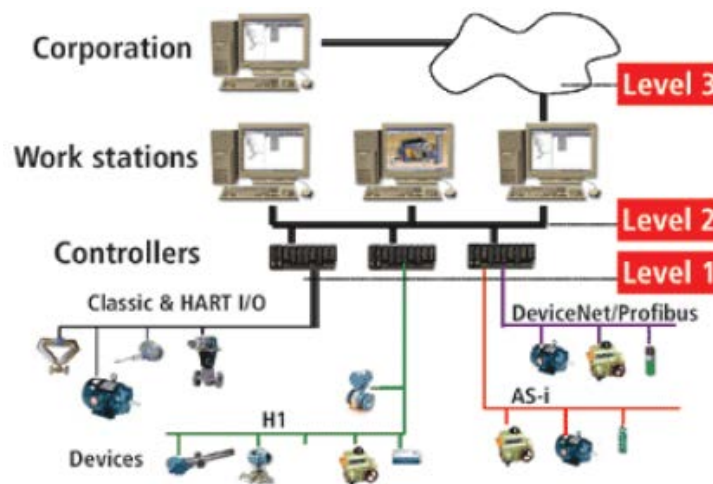


Figura 27 – O Wireless em um sistema de controle distribuído.
Fonte: Ghayum (2010).

Já o segundo nível de oportunidade está localizado, conforme Ghayum (2010), nas ligações com cabo entre controladores, estações de trabalho e sistemas supervisórios de controle e aquisição de data. Ainda segundo Ghayum (2010), como estas ligações são feitas normalmente com Ethernet, elas envolvem maior consumo de energia e necessitam de transferência rápida de informações, portanto, podem ser facilmente substituídas pelo Wi-Fi. O Wi-Fi é, segundo a Wi-Fi Alliance (2013), uma marca utilizada para garantir a interoperabilidade de produtos de rede local sem fio (Wireless LAN) baseados na IEEE802.11.

O terceiro nível foca no uso de dispositivos sem fio para fazer a ligação das estações de trabalho ao nível corporativo (GHAYUM, 2010).

Conforme a IHS (2013), com relação divisão do mercado global de equipamentos industriais sem fio, pouco mais da metade da produção do ano de

2012 foi dominado pelas tecnologias *Wireless LAN* e *Bluetooth* com 31 e 22% respectivamente. Segundo a IHS (2013), existe também uma grande fatia do mercado composta pelo somatório de várias tecnologias proprietárias e que tem alavancado a adoção da tecnologia sem fio na indústria mundialmente. Apesar disso, os usuários tem tido um cuidado na utilização das tecnologias proprietárias já que estas pecam em padronização e interoperabilidade com outros fabricantes. Este panorama pode ser visto conforme Figura 28.

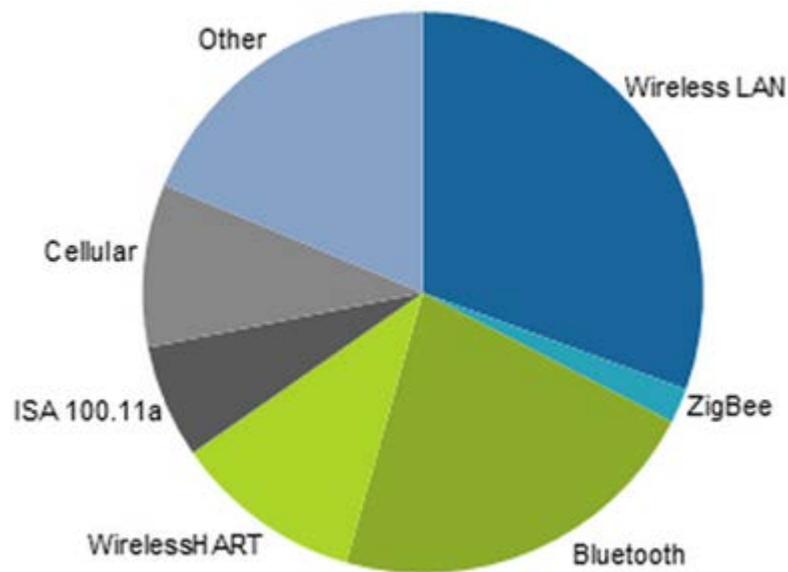


Figura 28 – Divisão do mercado *wireless* em 2012 por tipo de tecnologia.
Fonte: Adaptado de IHS (2013).

Ao retirar a fatia composta pelo somatório de diversas tecnologias proprietárias e limitar a análise nos protocolos do primeiro nível, foco deste trabalho, vemos no gráfico um pequeno predomínio do WirelessHART sobre o padrão ISA100.11a nas vendas de produtos sem fio no ano de 2012. Ambos estão bem acima do ZigBee e travam uma batalha no chão de fábrica que, segundo Petersen e Carlsen (2011), pode ser comparável a batalhas históricas os confrontos do Beta-max com o video home system (VHS), do Bluray com o High-Definition Digital Versatile Disk (HD-DVD) e também a disputa atual situação atual dos barramentos de campo com fio e ethernet industriais.

Com relação à situação no Brasil, segundo Pereira (2012), a SMAR Equipamentos Industriais e a Yokogawa América do Sul já vendiam equipamentos sem fio no começo dos anos 2000, porém, baseadas em outras tecnologias de rádio frequência. Passados alguns anos, a SMAR lançou equipamentos baseados no

WirelessHART, enquanto a Yokogawa, em 2010, lançou uma gama de produtos que atendiam o padrão ISA100.11a.

Conforme Pereira (2012), a Honeywell Process Solution seguiu um caminho similar a Yokogawa atualizando e migrando sua linha de produtos sem fio, inicialmente vendidos em 2004, para o padrão da ISA. Já a Emerson Process Management registrou em 2008 seu primeiro instrumento sem fio vendido no Brasil e, em 2012, já registrava mais de 500 milhões de horas de operação de instrumentos *WirelessHART*. Esse grande número de horas acumuladas foi atingido pelos mais de 100 mil dispositivos instalados em mais de três mil plantas no mundo, sendo dois mil dispositivos e mais de 100 plantas no Brasil.

Ainda segundo Pereira (2011), alguns instrumentos sem fio específicos têm maior procura. No caso do *WirelessHART* com a Emerson, o campeão de vendas é o processo de monitoramento de temperatura enquanto os instrumentos baseados no ISA100.11a mais vendidos com a Yokogawa são os transmissores de pressão, transmissores de temperatura e transmissores multiponto nesta ordem.

4 INSTALAÇÃO VIA CABO

Para realizar o caso de estudo proposto por este trabalho, algumas premissas devem ser tomadas antes de realizar a análise da instalação com cabo e a sua devida comparação com a instrumentação sem fio. A torre de ciclones que utilizada será, conforme citado na delimitação do tema deste trabalho, uma torre existente e em operação de uma fábrica de cimento na região Centro-Oeste do Brasil. As principais características do sistema de pré-aquecimento em que esta torre utilizada está inserida são:

- Utilização do processo por via seca de fabricação de cimento;
- Dimensionada para produção de 3.000 toneladas por dia de clínquer;
- Composto de torre de ciclones e calcinador em linha (ILC);
- Torre de ciclones com uma sequência composta de cinco ciclones;
- Torre de ciclones construída com sete lajes.

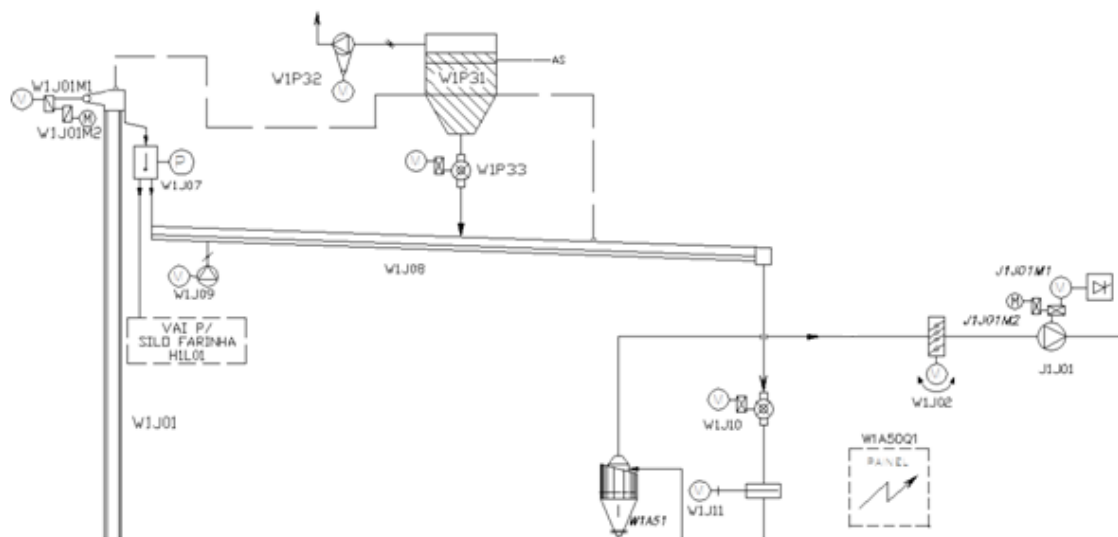
Além das características mencionadas, os pontos de cortes tanto do início quanto do final do escopo considerado devem ser definidos. Para tanto, será definido como ponto de início todos os equipamentos instalados e alocados no topo da sétima laje da torre. As lajes são contadas de baixo para cima, sendo a sétima laje a mais alta e distante referencialmente ao solo. Já o ponto final do escopo serão todos os equipamentos instalados a partir da segunda laje da torre. A primeira laje, neste caso, fica muito próxima ao nível do solo e distante aproximadamente quatro metros, enquanto a segunda laje começa já em quinze metros distante do solo. Os materiais necessários para ligar os equipamentos até a respectiva sala elétrica responsável pela coleta dos sinais, ou algum painel ligado à rede de automação da fábrica, também deverão ser considerados.

Outro ponto que deve ser observado é que a alimentação dos equipamentos que se situam em cima do silo de farinha também é feita utilizando a estrutura da torre. Apesar da proximidade das estruturas, os equipamentos do silo não serão considerados no estudo.

Como o foco é a possível substituição e os ganhos com a instrumentação sem fio, as estruturas utilizadas para iluminação e ligação de motores também não serão consideradas.

4.1 EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS

Definidas as premissas, o primeiro passo é o levantamento, identificação e quantificação dos equipamentos envolvidos no processo. Para isto, será considerado o fluxograma de processo, documento integrante do projeto da fábrica. Para melhor visualização deste fluxograma, a análise será dividida em duas partes, sendo a primeira parte a alimentação com farinha da torre e seu processo de exaustão, e a segunda parte a torre em si. O fluxograma de processo da primeira parte, os equipamentos e as respectivas identificações podem ser vistos na Figura 29.



Identificação	Equipamento
W1J01	Elevador de canecas
W1J07	Válvula pneumática da saída do elevador W1J01
W1J08	Requeira de alimentação da torre
W1J09	Ventilador de fluidização da requeira W1J08
W1J10	Válvula rotativa de entrada da torre
W1J11	Válvula gaveta de entrada da torre
W1P31	Filtro de mangas de despoejamento do topo da torre
W1P32	Ventilador de exaustão do filtro W1P31
W1P33	Válvula rotativa do filtro W1P31
W1J02	Válvula veneziana do ventilador J1J01
J1J01	Ventilador de tiragem induzida

Figura 29 – Fluxograma de processo da alimentação e exaustão da torre.
Fonte: Autoria própria (2013).

Os equipamentos W1A50Q1 e W1A51, apesar de aparecerem na Figura 29, não foram descritos na relação contida nessa, pois serão comentados na segunda parte que descreve a torre em si.

A válvula W1J02 e o ventilador J1J01 não serão considerados no estudo porque, apesar de fazerem parte do processo, fisicamente não se encontram na estrutura civil da torre. Ambos são instalados próximos ao solo. Já o duto metálico que sai do topo da torre até o nível do solo e liga o W1A51 à válvula W1J02 contém dois instrumentos. Estes dois instrumentos, um transmissor de pressão (W1A50PT1) e um termopar (W1A50TT1), são instalados na torre de ciclones e serão considerados nesta análise.

O elevador W1J01, primeiro equipamento da alimentação da torre, além da sua motorização principal, motorização auxiliar e botoeira para partida, foi projetado para trabalhar com seis pontos de instrumentação para sua proteção. Uma chave de nível para medição do entupimento da alimentação do elevador, duas chaves de desalinhamento da rota das caçambas, duas chaves de controle de rotação e um sensor térmico no acoplamento do motor principal. Dos seis instrumentos, três estão localizadas no topo do elevador e outros três na parte inferior ao elevador. No escopo deste trabalho serão considerados apenas os três do topo, pois os outros três estão localizados próximos do nível do solo, abaixo do limite de escopo da segunda laje.

Os três instrumentos do topo do elevador são: uma chave de desalinhamento das caçambas do elevador, o sensor térmico com transmissor de sinal do acoplamento hidráulico do acionamento do motor e o controlador da rotação do redutor do motor principal. Apesar dos nomes, tanto a chave de desalinhamento quanto o controlador de rotação são dois sistemas mecânicos que, quando atuados, sensibilizam um sensor indutivo. Já o sensor térmico do acoplamento é um sensor magnético instalado próximo ao ponto medido, mas não em contato com ele. A temperatura altera este campo magnético até um valor limite, quando um contato será comutado.

A válvula W1J07 que vem na sequência é acionada pneumaticamente e contém dois instrumentos discretos instalados. Dois sensores indutivos são utilizados para monitorar os estados de aberto e fechado dela. Mesmo caso dos dois sensores indutivos da válvula W1J11, porém esta última é acionada por um motor. O acionamento da válvula W1J07 é feita por solenoides que, ao receberem

determinada tensão em seus terminais, liberam um fluxo de ar comprimido que realiza a movimentação dessa.

O conjunto regueira (W1J08) mais ventilador de regueira (W1J09) que vem na sequência do processo é responsável pelo transporte da farinha de uma posição à outra. A regueira é um equipamento totalmente fechado e utilizado especificamente no transporte de materiais finos através da gravidade e de uma camada de ar na sua base, formada pelo seu ventilador. O único instrumento projetado para este equipamento neste caso foi uma chave de nível do tipo admitância para monitoramento em caso de entupimento do seu interior com material.

O filtro de despoeiramento W1P31 tem como função evitar que seja gerado e dispersado pó pelo ar no processo. Dentro dele existem tubos com materiais filtrantes, comumente chamados de mangas, que ficam carregados de pó sugado por um ventilador, neste caso o W1P32. As mangas são ligadas a linha de ar comprimido da fábrica por válvulas solenoides, estas acionadas sequencialmente e distanciadas de um pequeno intervalo de tempo. Ao ser acionada, a válvula solenoide permite que o ar passe pela manga e que o material que estava nela se desprenda, permitindo assim que ela continue com seu processo de filtragem do pó. A farinha, no caso deste filtro, retorna ao processo pela regueira. Para evitar que aconteça uma entrada repentina de muito material na regueira e esta entupa, uma válvula rotativa é instalada entre o filtro e esta regueira. Esta válvula veda o caminho do material e, ao girar, dosa a quantidade de material que passa de um lado ao outro.

O conjunto composto por filtro, ventilador e válvula rotativa tem como instrumentos um pressostato, um sensor indutivo e um programador eletrônico de filtro. O pressostato verifica se a pressão do ar comprimido na linha das mangas está acima do valor mínimo de funcionamento e, em caso negativo, comuta seu contato. O sensor indutivo, instalado na válvula rotativa, monitora sua rotação através de um anteparo externo conectado ao eixo da válvula. O programador de filtro utilizado neste caso é um painel que recebe um cabo para alimentação elétrica e outro cabo de sinal para troca de sinais com o sistema de automação. A alimentação do painel além de fazer funcionar sua eletrônica, a qual é configurável e controla a abertura e temporização do disparo das válvulas solenoides, também alimenta as próprias válvulas de limpeza das mangas. Já o cabo de sinal é, no caso

dessa fábrica, utilizado para coletar dois sinais digitais de status, o primeiro de “funcionando” e o segundo de “fim de ciclo de batimento”.

A válvula rotativa W1J10 na entrada da torre funciona da mesma maneira que a válvula rotativa W1P33. Sua função também é a vedação e dosagem de material que entra nos ciclones. Seu único instrumento também é o sensor indutivo monitorando sua rotação.

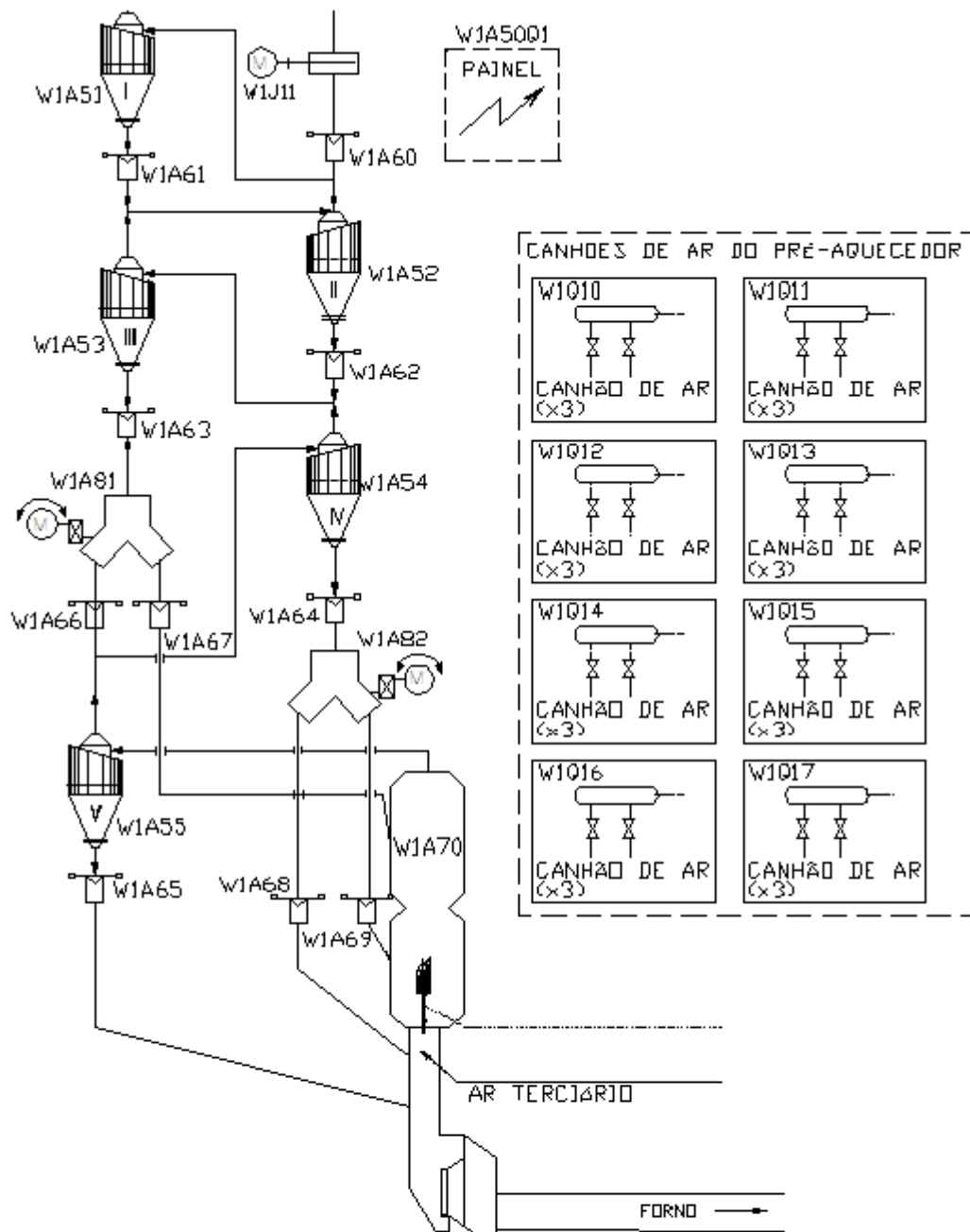
Os instrumentos utilizados na alimentação da torre de ciclones que é analisada neste trabalho, com suas respectivas identificações e características, são apresentados de forma resumida na Figura 30.

Equipamento	Instrumento					
	TAG	Função	Tipo de Instrumento	Sinal	Fabricante	Modelo
Duto entre W1A51 e W1J02	W1A50PT1	Pressão Gás de Tiragem	Transmissor de Pressão	4-20 mA	SMAR	LD301M-21I-TD11-011-A0/D0/G0/H0/J0/M0/Y2/I5/P0
	W1A50TE1	Temperatura Gás de Tiragem	Termopar tipo K	mV	Ecil	MM11 K-S-60-310 446-21-S-500 KNE c/bucim ajustável
W1J01	W1J01XSH1	Desalinhamento Caçamba	Chave de Desalinhamento	120Vac	Pepperl+Fuchs	NCB15+U1+U
	W1J01TSH	Temperatura alta	Sensor térmico + Transmissor de Sinal	120Vac	Turck + Turck	BIM-G18-Y1/S926 + EWD/20-250VUC
	W1J01SE2	Velocidade baixa	Sensor Proximidade Indutivo	120Vac	Turck + Turck	Bi5-G18-Y1 + EWD/20-250VUC
W1J07	W1J07XV1	Abrir p/Silo de Farinha H1L01	Solenóide	120Vac	Festo	MFH5.1/4"+MSFW-110-50/60
	W1J07XV2	Abrir p/W1J08	Solenóide	120Vac	Festo	MFH5.1/4"+MSFW-110-50/60
	W1J07ZSH	Aberto p/Silo de Farinha H1L01	Sensor Proximidade Indutivo	120Vac	Telemecanique	XS1 M30MB250
	W1J07ZSL	Aberto p/W1J08	Sensor Proximidade Indutivo	120Vac	Telemecanique	XS1 M30MB250
W1J08	W1J08LSH	Nível Alto	Chave de Nível	120Vac	Lince	CNU-INT-102TC
W1J10	W1J10SE	Velocidade baixa	Vigia de Velocidade (Indutivo)	120Vac	Telemecanique	XS1 M30MB250
W1J11	W1J11ZSH	Válvula Aberta	Sensor Proximidade Indutivo	120Vac	Telemecanique	XS1 M30MB250
	W1J11ZSL	Válvula Fechada	Sensor Proximidade Indutivo	120Vac	Telemecanique	XS1 M30MB250
W1P31	W1P31PSL	Pressão Baixa	Pressostato	120Vac	Telemecanique	XML-B010A2S11
	W1P31Q1	Programador do Filtro de Mangas	Painel	120Vac	Santec	SANTEC V4.1
W1P33	W1P33SE	Velocidade baixa	Vigia de Velocidade (Indutivo)	120Vac	Telemecanique	XS1 M30MB250

Figura 30 – Lista de instrumentos da alimentação da torre de ciclones.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 31 apresenta o fluxograma da torre de ciclones, a descrição e identificação dos equipamentos que a compõe.

A torre de ciclones possui menor variedade de instrumentos que a alimentação da torre. O bom funcionamento dos ciclones depende do controle da sua queda de pressão e o controle da temperatura do material. Por este motivo, cada um dos cinco ciclones (W1A51, W1A52, W1A53, W1A54 e W1A55) tem quatro instrumentos. Dois transmissores de pressão, uma na entrada e outra na saída do ciclone, e dois sensores de temperatura do tipo termopar, uma na entrada e a outro na saída do ciclone.



Identificação	Equipamento
W1A50Q1	Painel Analisador de Gás
W1A51 a W1A55	Ciclones 01 a 05
W1A60 a W1A69	Válvulas flap de fechamento do ciclone
W1A70	<u>Pré-calcinador</u>
W1A81 e W1A82	Válvulas divisoras motorizadas
W1Q10 a W1Q17	Painel de acionamento dos canhões de ar

Figura 31 – Fluxograma de processo da torre de ciclones.
Fonte: Autoria própria (2013).

O pré-calcinador (W1A70) da Figura 31 faz parte, assim como os ciclones, do processo de calcinação da farinha. Da mesma forma que os ciclones, esse

também possui instrumentos para a medição de pressão e de temperatura. No pré-calcinador, como o material não faz o mesmo trajeto que dentro do ciclone, foi considerado apenas um transmissor de pressão na saída e dois sensores de temperatura, um na parte superior por onde o material é retirado, e outro na parte inferior onde o material entra no equipamento.

As nove válvulas pendulares (W1A60 a W1A69) da Figura 31, presentes nas tubulações de trocas de material e gases entre ciclones, não possuem instrumentos instalados. O objetivo dessas válvulas é isolar os circuitos de ar para que a entrada de gás com material não seja feita por baixo do ciclone. Basicamente, estas válvulas possuem em seu interior uma peça que, em posição normal, faz o fechamento usando contrapesos do lado externo. Ao acumular certa quantidade de material sobre sua superfície, maior que o peso do contrapeso externo, a válvula abre proporcionalmente e permite a passagem do material. Caso o peso do material seja inferior ao peso do contrapeso externo, sua tendência de fechamento fará com que a válvula volte a fechar o circuito.

As válvulas divisoras motorizadas W1A81 e W1A82 da Figura 31 possuem, cada uma, quatro sinais digitais e um sinal analógico. Dois sinais digitais são responsáveis por mostrar o lado que a válvula está comutada e são provenientes de duas chaves de fim de curso. Os outros dois sinais digitais, vindo de dois sensores indutivos, são utilizados para proteger e identificar sobre torque na válvula, caso ocorra falha nas chaves de fim de curso. O sinal analógico de 4 a 20 mA provém de um transmissor que transmite ao sistema de controle a posição parcial das válvulas.

Os canhões de ar são pequenos balões instalados ao longo da torre e que liberam jatos de ar no processo para evitar o acúmulo de material. A maioria de seu circuito é pneumático, porém as válvulas utilizadas para a liberação do ar para o processo são válvulas solenoides de duas vias, normalmente fechadas, e cada uma com apenas uma bobina de atuação. As válvulas estão instaladas em painéis (W1Q10 a W1Q17 da Figura 31) que comportam três válvulas cada um.

Além de todos os instrumentos, painéis analisadores de gás são instalados no processo de fabricação do clínquer com o objetivo de analisar os componentes do gás que é liberado do forno e trafega pela torre. Estes são importantes para o controle do processo de queima do material e para o controle ambiental dos gases lançados na atmosfera. O W1A50Q1 da Figura 31 possui troca de informações digitais e analógicas com o sistema de controle e foi considerado nesse trabalho.

Nesta planta existem mais dois painéis analisadores de gás, o J1X10Q1 e o W1W01Q1, que monitoram efetivamente a chaminé de saída de gases e a entrada do forno rotativo respectivamente. Como o painel J1X10Q1 faz parte do processo de tratamento dos gases da fábrica, esse não aparece no mesmo fluxograma da torre de ciclones, Figura 31. Apesar disso, esse será considerado nesse trabalho porque a chaminé desta fábrica é instalada ao lado da torre e este analisador está instalado na 7ª laje. O analisador W1W01Q1 fica localizado na primeira laje da torre e não foi considerado nesse trabalho.

Os instrumentos utilizados na torre de ciclones, com suas respectivas identificações, são apresentados na Figura 32.

Equipamento	Instrumento					
	TAG	Função	Tipo de Instrumento	Sinal	Fabricante	Modelo
W1A5x (x = 1, 2, 3, 4, 5)	W1A5xPT1	Pressão entrada ciclone	Transmissor de Pressão	4-20 mA	SMAR	LD301M-21I-TD11-011-A0/D0/G0/H0/J0/M0/Y2/I5/P0
	W1A5xTE1	Temperatura entrada ciclone	Termopar tipo K	mV	Ecil	MM11 K-S-60-310 446-21-S-1000 KNE c/bucim ajustável
	W1A5xPT2	Pressão saída ciclone	Transmissor de Pressão	4-20 mA	SMAR	LD301M-21I-TD11-011-A0/D0/G0/H0/J0/M0/Y2/I5/P0
	W1A5xTE2	Temperatura saída ciclone	Termopar tipo K	mV	Ecil	MM11 K-S-60-310 446-21-S-500 KNE c/bucim ajustável
W1A70	W1A70PT1	Pressão linha	Transmissor de Pressão	4-20 mA	SMAR	LD301M-21I-TD11-011-A0/D0/G0/H0/J0/M0/Y2/I5/P0
	W1A70TE1	Temperatura entrada calcinador	Termopar tipo K	mV	Ecil	MM11 K-S-60-310 446-21-S-500 KNE c/bucim ajustável
	W1A70TE2	Temperatura saída calcinador	Termopar tipo K	mV	Ecil	MM11 K-S-60-310 446-21-S-500 KNE c/bucim ajustável
W1A81	W1A81ZSH	Aberto p/W1A66	Chave fim de curso	120Vac	Schneider	XC2-JC4+ZC2JE04+ZC2JY31
	W1A81ZSL	Aberto p/W1A67	Chave fim de curso	120Vac	Schneider	XC2-JC4+ZC2JE04+ZC2JY31
	W1A81ZT	Posição parcial	Transmissor de Posição	4-20 mA	Camille Bauer	708-114D
W1A82	W1A82ZSH	Aberto p/W1A68	Chave fim de curso	120Vac	Schneider	XC2-JC4+ZC2JE04+ZC2JY31
	W1A82ZSL	Aberto p/W1A69	Chave fim de curso	120Vac	Schneider	XC2-JC4+ZC2JE04+ZC2JY31
	W1A82ZT	Posição parcial	Transmissor de Posição	4-20 mA	Camille Bauer	708-114D
W1Q1x (x = 0, 1, 2, ..., 7)	W1Q1xXV1	Jato de ar comprimido	Solenóide	120Vac	Festo	MFH5.1/4"+MSFW-110-50/60
	W1Q1xXV2	Jato de ar comprimido	Solenóide	120Vac	Festo	MFH5.1/4"+MSFW-110-50/60
	W1Q1xXV3	Jato de ar comprimido	Solenóide	120Vac	Festo	MFH5.1/4"+MSFW-110-50/60
W1A50Q1	W1A50Q1	Análise de gás topo torre	Painel analisador de gás	-	ABB	EL3000+Uras26+Magnos206
J1X10Q1	J1X10Q1	Análise de gás saída chaminé	Painel analisador de gás	-	ABB	EL3000+Uras26+Magnos206

Figura 32 – Lista de instrumentos da torre de ciclones.
Fonte: Autoria própria.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

No processo de comparação deste estudo não apenas os instrumentos são importantes, mas também o material utilizado para conectá-los ao processo. Os materiais utilizados são apresentados em três grupos: cabos, materiais elétricos necessários para conexão dos cabos aos instrumentos e equipamentos utilizados no sistema de automação.

Para a quantificação dos cabos foi utilizado um documento parte integrante do projeto elétrico da planta estudada. Este documento, chamado de “lista de cabos para lançamento” e conhecido também como “lista de cabos de para”, tem como objetivo identificar todos os trechos de cabo, os percursos que esses devem seguir e informar o comprimento de cada um destes cabos.

A lista em que estão inseridos os cabos da torre conta também com todos os cabos desde a saída da moagem de farinha até o final do forno de clínquer. Esta lista possui 624 itens entre cabos de comando e cabos de instrumentação e foi simplificada na Figura 33 apenas para os itens que foram utilizados neste trabalho. Os lances específicos de cabos de instrumentação e de cabos de comando que geraram a Figura 33 estão apresentados na Figura 34.

Formação	Isolação		Comprimento (m)
	Tipo	Tensão	
Cabos de Instrumentação			
1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	1165
CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	801
Total:			1966
Cabos de Comando			
1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	30
1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	309
1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	224
1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	819
1x15C#1,0mm ²	PVC	450/750V	26
Total:			1408

Figura 33 – Quantidade total de cabos da torre de ciclones e sua alimentação.
Fonte: Autoria própria.

IDENTIFICAÇÃO	LISTA			DE		PARA		
	FORMAÇÃO	ISOLAÇÃO		COMP. (M)	LOCAL	EQUIPAMENTO	LOCAL	EQUIPAMENTO
		TIPO	TENSÃO					
Cabos de Instrumentação								
J1X1001	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	26	CAMPO	J1X10Q1	CAMPO	CAIXA DE CONEXÕES
J1X1002	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	28	CAMPO	J1X10Q1	CAMPO	CAIXA DE LIMPEZA
J1X1003	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X1004	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X1005	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X1006	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X1007	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X1008	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	74	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
W1A5001	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	21	PAINEL	W1A50Q1	CAMPO	CAIXA DE CONEXÕES
W1A5002	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	22	PAINEL	W1A50Q1	CAMPO	CAIXA DE LIMPEZA
W1A5003	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	14	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50Q1
W1A5004	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	14	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50Q1
W1A5005	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	14	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50Q1
W1A5006	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	17	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50TE1
W1A5007	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	17	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50PT1
W1A5101	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	42	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A51TE1
W1A5102	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	51	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A51TE2
W1A5103	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	42	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A51PT1
W1A5104	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	51	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A51PT2
W1A5201	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	39	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A52TE1
W1A5202	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	53	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A52TE2
W1A5203	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	39	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A52PT1
W1A5204	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	53	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A52PT2
W1A5301	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	104	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A53TE1
W1A5302	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	92	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A53TE2
W1A5303	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	104	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A53PT1
W1A5304	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	92	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A53PT2
W1A5401	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	80	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A54TE1
W1A5402	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	62	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A54TE2
W1A5403	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	80	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A54PT1
W1A5404	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	62	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A54PT2
W1A5501	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	77	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A55TE1
W1A5502	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	60	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A55TE2
W1A5503	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	77	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A55PT1
W1A5504	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	60	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A55PT2
W1A7001	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	75	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A70PT
W1A7002	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	75	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A70TE1
W1A7003	CABO DE COMPENSAÇÃO	PVC	300V	49	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A70TE2
W1A8101	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	95	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A81ZT
W1A8201	1x1T#0,75mm ²	PVC	300V	45	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A82ZT
Cabos de Comando								
J1X10C01	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	26	CAMPO	J1X10Q1	CAMPO	CAIXA DE CONEXÕES
J1X10C02	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	28	CAMPO	J1X10Q1	CAMPO	CAIXA DE LIMPEZA
J1X10C03	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	28	CAMPO	J1X10Q1	CAMPO	CAIXA DE LIMPEZA
J1X10C04	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X10C05	1x15C#1,0mm ²	PVC	450/750V	12	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X10C07	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	74	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
J1X10C08	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	74	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	J1X10Q1
W1A50C01	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	21	PAINEL	W1A50Q1	CAMPO	CAIXA DE CONEXÕES
W1A50C02	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	22	PAINEL	W1A50Q1	CAMPO	CAIXA DE LIMPEZA
W1A50C03	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	22	PAINEL	W1A50Q1	CAMPO	CAIXA DE LIMPEZA
W1A50C04	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	14	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50Q1
W1A50C05	1x15C#1,0mm ²	PVC	450/750V	14	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1A50Q1
W1A81C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	95	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A81ZSL/ZSH/ZSL/ZSHH
W1A82C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	45	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1A82ZSL/ZSH/ZSL/ZSHH
W1J01C03	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	39	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	WJ01TSH
W1J01C09	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	39	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J01XSH1
W1J05C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	100	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J05
W1J07C01	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	40	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J07XV1/XV2
W1J07C02	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	40	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J07ZSH/ZSL
W1J08C01	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	41	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J08LSH
W1J10C01	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	33	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J10SE
W1J11C01	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	30	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1J11ZSH/ZSL
W1P31C01	1x5C#1,0mm ²	PVC	450/750V	23	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C02	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	23	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1P31PSL
W1P31C03	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV1	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C04	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV2	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C05	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV3	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C06	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV4	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C07	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV5	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C08	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV6	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C09	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV7	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C10	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV8	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C11	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV9	CAMPO	W1P31Q1
W1P31C12	1x2C#1,0mm ²	PVC	450/750V	3	CAMPO	W1P31XV10	CAMPO	W1P31Q1
W1P33C01	1x3C#1,0mm ²	PVC	450/750V	17	TORRE 7ª LAJE	W1RM5	CAMPO	W1P33SE
W1Q10C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	87	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q10Q1
W1Q11C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	87	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q11Q1
W1Q12C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	68	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q12Q1
W1Q13C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	68	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q13Q1
W1Q14C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	54	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q14Q1
W1Q15C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	54	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q15Q1
W1Q16C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	24	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q16Q1
W1Q17C01	1x7C#1,0mm ²	PVC	450/750V	24	TORRE 2ª LAJE	W1RM8	CAMPO	W1Q17Q1

Figura 34 – Lista de cabos dos instrumentos da torre e sua alimentação.
Fonte: Autoria própria (2013).

Ao contrário dos cabos que são lançados e identificados individualmente para cada instrumento, os materiais elétricos para passagem de cabos podem ser compartilhados para diferentes lances em certos trechos. Por este motivo, para a quantificação dos materiais elétricos foram considerados apenas os materiais utilizados individualmente pelos instrumentos ou os materiais que sejam compartilhados por dois ou mais itens, desde que todos estes itens também façam parte da relação de instrumentos utilizados neste trabalho.

A empresa possui uma relação de documentos que quantificam os materiais elétricos em geral. Todos os desenhos do projeto, sejam de aterramento, de controle, de iluminação ou força possuem uma lista específica de materiais chamada de “lista de materiais por desenho”.

Com base nestas listas, a maneira mais rápida de levantamento dos dados seria relacionar no projeto todos os desenhos de força e controle da torre de ciclones e sua alimentação, as listas de materiais para cada um destes desenhos e, assim como nas listas de cabos, agrupar e somar os itens similares para gerar uma lista de materiais total.

Apesar da aparente simplicidade, as listas de materiais por desenho não podem ser utilizadas diretamente sem uma avaliação inicial. Como os projetos de força e controle da planta englobam não somente os instrumentos, mas também diversos outros itens como os motores, botoeiras de acionamento e caixas de solda para manutenção na utilização diretamente das listas poderiam ser considerados equipamentos não analisados nesse trabalho.

Desta forma, a solução utilizada foi a quantificação dos itens que são utilizados individualmente, sendo que podem existir materiais ou trechos compartilhados de passagem de cabos entre itens necessários e não necessários para o estudo. Portanto, apesar de mais trabalhosa, esta solução mostra-se mais confiável.

Baseado na análise dos projetos disponíveis no Apêndice A e nas identificações dos cabos da Figura 34, da Figura 35 e da Figura 36 apresentam a relação de materiais utilizados para a conexão dos cabos aos instrumentos.

IDENTIFICAÇÃO	Eletrodutos (m)			Acessórios						Fixação em estrutura metálica				Fixação em concreto			Identificação do Trecho exclusivo conforme Projeto	
				Bucha Acabamento (pçs)			Luva (pçs)			Grampo U (pçs)			Perfil "L" (mm)	Abraç. Tipo D c/cunha				
	3/4"	1"	1.1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	1.1/2"x1.1/2"x1/4"	3/4"	1"	1.1/2"		
J1X10I03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EI-W263
J1X10I04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
J1X10I05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
J1X10I06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
J1X10I07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
J1X10I01	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
J1X10I02	1,4	-	-	4	6	-	4	-	-	4	2	-	-	500	6	-	-	EI-W263, EI-W265 EI-W263, EI-W265, EI-W151
J1X10C02	1,4	-	-	4	-	-	-	-	-	4	-	-	900	-	-	-	-	EC-W264, EC-W266, EC-W148
J1X10C03	-	0,7	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
J1X10C01	-	-	1,5	-	-	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	6	-	EC-W264, EC-W266
J1X10C04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EC-W264
J1X10C05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J1X10I08	-	35,6	-	20	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	EI-W257
J1X10C07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EC-W256
J1X10C08	-	35,6	-	-	20	-	-	5	-	-	-	-	1840	-	-	17	-	
W1RM1C06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A50I03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EI-W267
W1A50I04	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
W1A50I05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A50I01	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EI-W267, EI-W269
W1A50I02	1	-	-	4	8	-	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	EI-W267, EI-W269, EI-W124
W1A50C02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	900	920	255	-	-	EC-W268, EC-W576, EC-W125
W1A50C03	1,3	12,5	1,5	4	8	2	-	2	-	4	4	2	-	-	4	-	-	
W1A50C01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EC-W268, EC-W576
W1A50C04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EC-W268
W1A50C05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A50I06	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	320	-	-	-	-	EI-W590
W1A50I07	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A51I01	-	4,1	-	-	4	-	-	1	-	-	5	-	825	-	-	-	-	EI-W244
W1A51I03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A51I02	-	14,6	-	-	12	-	-	1	-	-	13	-	2145	700	-	-	-	EI-W225, EI-W227
W1A51I04	-	-	4,3	-	-	4	-	-	-	-	-	4	990	-	-	-	-	EI-W225, EI-W226
W1A52I01	-	2,9	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A52I03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A52I02	-	3	-	-	6	-	-	-	-	-	6	-	990	700	-	-	-	EI-W199, EI-W221
W1A52I04	-	-	6,2	-	-	4	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
W1A53I01	-	15,4	-	-	12	-	-	2	-	-	14	-	2310	-	-	-	-	EI-W199, EI-W222
W1A53I03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1A53I02	-	17,4	-	-	10	-	-	3	-	-	13	-	2145	-	-	-	-	EI-W186, EI-W188
W1A53I04	-	-	7,8	-	-	6	-	-	1	-	-	6	-	-	-	-	-	-
W1A54I01	-	7	-	-	8	-	-	2	-	-	14	-	2310	1350	-	-	-	EI-W186, EI-W187
W1A54I03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W1Q10C01	0,7	19,8	-	4	10	-	-	4	-	4	14	-	640	1440	-	-	-	EC-W183, EC-W579
W1Q11C01	0,9	-	-	4	-	-	-	4	-	4	-	-	640	-	-	-	-	EC-W183, EC-W580

Figura 35 – Quantidade detalhada de materiais dos instrumentos – parte 1.

Fonte: Autoria própria.

IDENTIFICAÇÃO	Eletrodutos (m)			Acessórios						Fixação em estrutura metálica						Fixação em concreto			Identificação do Trecho exclusivo conforme Projeto	
				Buchas Acabamento (pçs)			Luva (pçs)			Grampo U (pçs)			Perfil "L" (mm)			Abraç. Tipo D c/cunha				
	3/4"	1"	1.1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	1.1/2"x1.1/2"x1/4"			3/4"	1"	1.1/2"		
W1A54I02	-	2		-	4		-	-	-	-	4	6	660	-	-		-	-	-	EI-W174, EI-W175
W1A54I04	-		5,3	-		6	-	-	-	-		6		-	-		-	-	-	
W1A55I01	-	15,9		-	16		-	1	-	-	17	6	2640	-	-	1530	-	-	-	EI-W174, EI-W176
W1A55I03	-			-			-		-					-	-		-	-	-	
W1Q12C01	0,9			-	4	8	-	-	1	-	4	9	320	780	240		-	-	-	EC-W171, EC-W577
W1Q13C01	1,1	6,3		-	4		-	-		-	4		320				-	-	-	EC-W171, EC-W578
W1A70I03				-			-			-				-	-		-	-	-	
W1W01I06	9,3	-	9,3	-	4	4	-	2	2	-	6	6	960	-	1680		-	-	-	EI-W164, EI-W399
W1A55I02	-	9		-		10	-			-		10	660				-	-	-	EI-W164, EI-W600
W1A55I04	-			-			-			-				-	-		-	-	-	
W1Q14C01	0,8			-	2	8	-	-	3	-	2	11	450	1440			-	-	-	EC-W163, EC-W125
W1Q15C01	0,8	17		-	2		-	-		-	2						-	-	-	EC-W163, EC-W124
W1A70I01	18,6			-			-			-				-	-		14	-	-	EI-W584
W1A70I02				-			-			-				-	-			-	-	
W1A81I01	18,3			-		20	-			-				-	-		6	-	-	EI-W182
W1A81C01	3			-	6		-			-	6			-	-			-	-	EC-W180
W1A82I01	3			-	4		-			-	4			-	-			-	-	EI-W169
W1A82C01	1,9			-	4		-			-	5			-	-			-	-	EC-W166
W1J01C03		4		-		4	-			-		4	330					-	-	EC-W251
W1J01C09				-			-			-								-	-	
W1J07C01				-			-			-				510				-	-	
W1J07C02			4,8	-			-			-			525					-	-	EC-W254
W1J08C01				-			-			-								-	-	
W1J10C01	1,2			-	4		-			-	4		640					-	-	EC-W238
W1J11C01	1,6			-	4		-			-	4		640					-	-	EC-W197
W1P31C01	7,3			-	4	2	-	2	2	-	6	6	960	990	1425			-	-	EC-W233, EC-W234, EC-W582
W1P31C02	4,8	9	5	-	2	6	-	1	1	-	3	7	480					-	-	EC-W233, EC-W234, EC-W583
W1P33C01	0,8			-	2		-			-	2		320					-	-	EC-W233, EC-W235
W1P31C03				-			-			-								-	-	
W1P31C04				-			-			-								-	-	
W1P31C05				-			-			-								-	-	
W1P31C06				-			-			-								-	-	
W1P31C07				-			-			-								-	-	
W1P31C08				-			-			-								-	-	
W1P31C09				-			-			-								-	-	
W1P31C10				-			-			-								-	-	
W1P31C11				-			-			-								-	-	
W1P31C12				-			-			-								-	-	
W1Q16C01	0,8			-	2	8	-			-	2	7	330	1155				3	-	EC-W155, EC-W123
W1Q17C01	0,8	12,8		-	2		-			-	2								-	EC-W155, EC-W122

Figura 36 – Quantidade detalhada de materiais dos instrumentos – parte 2.

Fonte: Autoria própria.

Com base nas próprias especificações dos materiais presentes nas listas de materiais por desenho do projeto e as informações apresentadas na Figura 35 e na Figura 36, a lista total de materiais foi gerada e apresentada pela Figura 37.

Item	Descrição	Dimensão	Quantidade	Unidade
1	Eletroduto rígido de aço carbono, semi pesado, com costura, cordão de solda interna removido, galvanizado a fogo, sem rebarba e com superfícies internas isentas de arestas,	3/4"	95	m
2	rosca NBR-6414 (BSP) fornecido em peças de 3 metros com uma luva em uma	1"	261	m
3	extremidade e unidade protetora na outra, fabricado conforme NBR-5598 da ABNT.	1.1/2"	31	m
4	Bucha de acabamento para eletroduto, fabricada em borracha anti-chama e anti-corrosiva,	3/4"	142	pçs
5	de alta resistência mecânica para instalação ao tempo, fixação por encaixe sob pressão	1"	176	pçs
6		1.1/2"	28	pçs
7	Luva para eletroduto, tipo pesado, fabricado em ferro nodular galvanizado, roscas	3/4"	20	pçs
8	internas, para junção de eletrodutos. Roscas tipo BSP.	1"	33	pçs
9		1.1/2"	2	pçs
10	Grampo "U", para fixação de eletroduto, fornecido com porcas e arruelas de pressão.	3/4"	106	pçs
11	Galvanizado a fogo. Roscas tipo WW.	1"	184	pçs
12		1.1/2"	29	pçs
13	Perfil "L" de aço, galvanizado a quente, abas iguais, pontas aparadas	1.1/2"x1.1/2"x1/4"	44705	mm
14	Fixador singelo (braçadeira) com cunha de aperto, fabricado em chapa de aço	3/4"	51	pçs
15	galvanização eletrolítica conforme ABNT.	1"	26	pçs
16	Chumbador de aço com bico e rosca interna, completo com bucha de expansão para fixação em concreto.	1/4"	77	pçs
17	Parafuso cabeça redonda fendida, fabricado em aço, galvanização eletrolítica, rosca total conforme DIN11 (WWW), diâmetro x comprimento.	1/4" x 3/4"	87	pçs
18	Arruela lisa circular de aço galvanizado a fogo, conforme ABNT.	1/4"	87	pçs
19	Perfilado perfurado (canaleta), chapa de 12 MSG, aço galv. a fogo, conforme ABNT.	38x38x6000mm	3370	mm
20	Pressa cabo fabricado em liga de alumínio com bucha de neoprene, para aperto de cabos. Roscas externas e interna. IP 65. Roscas tipo NPT.	1/2"	10	pçs
21	Porca sextavada em aço, galvanização eletrolítica, rosca "WWW" conforme ABNT.	1/4"	10	pçs

Figura 37 – Quantidade total de materiais elétricos exclusivos da instrumentação.

Fonte: Autoria própria.

Além dos cabos e dos materiais elétricos, os componentes da automação utilizados para conectar estes instrumentos ao sistema de controle da fábrica devem ser classificados e quantificados para finalizar a análise da instalação com cabo.

De acordo com a Figura 34 é possível verificar que, com exceção dos cabos que fazem a conexão dos instrumentos com painéis locais, todos os cabos são ligados em dois painéis, o W1RM5 e o W1RM8. Na fábrica analisada, ao invés dos cabos conectarem diretamente o instrumento até um cartão de CLP (de entrada ou de saída, digital ou analógico), os cabos são ligados aos painéis intermediários, denominados painéis remotos, como o W1RM5 e o W1RM8.

Os painéis remotos são painéis que ficam localizados em posições estratégicas na planta e possuem grau de proteção específica para instalação em áreas externas. Esses painéis possuem o objetivo de concentrar os sinais que são transmitidos via rede de comunicação até o CLP. Nesses painéis estão cartões de entrada e saída, além de uma unidade principal que comanda o chassi dos cartões e é responsável pela ligação com o CLP.

Novamente, a solução para quantificar estes equipamentos foi utilizar o projeto de automação que disponibiliza um documento que relaciona todas as entradas e saídas de cada um dos painéis remotos. Com base na relação de equipamentos e instrumentos feita no item 4.1 e neste documento do projeto de automação, a quantidade de pontos de entrada e saída é apresentada na Figura 38.

Equipamento	Origem Instrumentos	Painel		Entrada		Saída	Multifaixa
		RM05	RM08	Discreta	Analógica	Discreta	
J1X10Q1	-	X	-	13	6	2	-
W1A50Q1	-	X	-	10	3	3	-
W1J01	W1J01XSH1, W1J01TSH, W1J01SSL2	X	-	3	-	-	-
W1J07	W1J07ZSH, W1J07ZSL, W1J07XV1, W1J07XV2	X	-	2	-	2	-
W1J08	W1J08LSH	X	-	1	-	-	-
W1J09	-	-	-	-	-	-	-
W1J10	W1J10SSL	X	-	1	-	-	-
W1J11	W1J11ZSH, W1J11ZSL	X	-	2	-	-	-
W1P31	W1P31PSL, W1P31Q1, (W1P31XV1 a W1P31XV10)	X	-	3	-	1	-
W1P32	-	-	-	-	-	-	-
W1P33	W1P33SSL	X	-	1	-	-	-
W1A50	W1A50PT1, W1A50TT1	X	-	-	1	-	1
W1A51	W1A51PT1, W1A51PT2, W1A51TT1, W1A51TT2	X	-	-	2	-	2
W1A52	W1A52PT1, W1A52PT2, W1A52TT1, W1A52TT2	X	-	-	2	-	2
W1A53	W1A53PT1, W1A53PT2, W1A53TT1, W1A53TT2	-	X	-	2	-	2
W1A54	W1A54PT1, W1A54PT2, W1A54TT1, W1A54TT2	-	X	-	2	-	2
W1A55	W1A54PT1, W1A54PT2, W1A54TT1, W1A54TT2	-	X	-	2	-	2
W1A60 a A69	-	-	-	-	-	-	-
W1A70	W1A70PT1, W1A70TT1, W1A70TT2	-	X	-	1	-	2
W1A81	W1A81ZSH, W1A81ZSL, W1A81ZSHH, W1A81ZSLL, W1A81ZT	-	X	5	1	-	-
W1A82	W1A82ZSH, W1A82ZSL, W1A82ZSHH, W1A82ZSLL, W1A82ZT	-	X	5	1	-	-
W1Q10	W1Q10XV1, W1Q10XV2, W1Q10XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q11	W1Q11XV1, W1Q11XV2, W1Q11XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q12	W1Q12XV1, W1Q12XV2, W1Q12XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q13	W1Q13XV1, W1Q13XV2, W1Q13XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q14	W1Q14XV1, W1Q14XV2, W1Q14XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q15	W1Q15XV1, W1Q15XV2, W1Q15XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q16	W1Q16XV1, W1Q16XV2, W1Q16XV3	-	X	1	-	3	-
W1Q17	W1Q17XV1, W1Q17XV2, W1Q17XV3	-	X	1	-	3	-
TOTAL:		12	14	54	23	32	13

Figura 38 – Quantidade de pontos de entrada e saída do sistema estudado.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 38 apresenta uma coluna chamada multifaixa, que é um cartão tipo entrada analógica aplicado para ligação de sensores de temperatura diretamente nele. Este cartão compensa automaticamente a junção de referência nos termopares e disponibiliza os bornes para PT-100 ligados em 2, 3 ou 4 fios.

4.3 ANÁLISE DO TEMPO DE INSTALAÇÃO

Para analisar o tempo de instalação dos instrumentos com cabo da planta foi utilizado um cronograma padrão para montagem elétrica da torre de ciclones da empresa estudada, conforme apresentado na Figura 39.

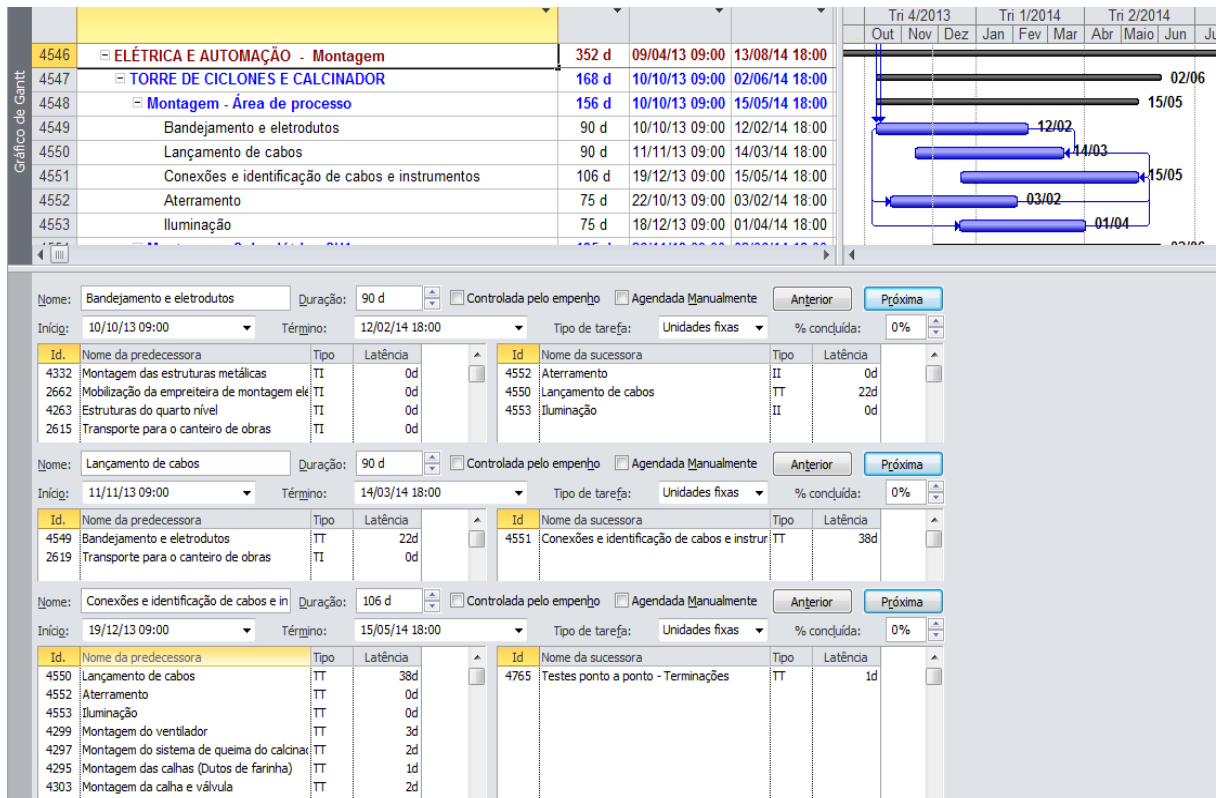


Figura 39 – Cronograma de montagem elétrica – torre de ciclones.
Fonte: Autoria própria (2013).

Ao analisar a Figura 39 percebe-se que o tempo total de montagem elétrica na torre de ciclones é de 156 dias, considerando todos os equipamentos do nível do solo até a última laje.

As tarefas que compõe a montagem elétrica da torre de ciclones são:

- Bandejamento e eletrodutos;
- Lançamento de cabos;
- Conexões e identificação de cabos e instrumentos;
- Aterramento;
- Iluminação.

Os últimos itens, aterramento e iluminação, não serão considerados, pois não fazem parte do escopo do trabalho.

Ao analisar as outras três tarefas existentes no cronograma, percebe-se que estão todas relacionadas e são realizadas em sequência, ou seja, as conexões e identificação de cabos e instrumentos são realizadas após o lançamento de cabos, enquanto esta é realizada após o bandejamento e eletrodutos.

Nenhum dos três itens tem como sucessora uma tarefa de cunho civil ou mecânico. Conclui-se, então, que o atraso das montagens elétricas afeta única e exclusivamente as tarefas da montagem elétrica.

O cronograma apresentado é macro e pouco detalhado ao nível de máquina, como analisado no trabalho como um todo. Este nível de informação fez com que as análises temporais fossem estimadas na instalação sem fio, assim como o resultado no final da análise também resultou em um valor estimado.

5 INSTALAÇÃO SEM CABO

Com base nas informações coletadas no Capítulo 4, uma solução sem fio para os instrumentos existentes deve ser encontrada. O primeiro passo para compatibilizar uma solução sem fio com a instalação existente é a escolha da tecnologia a ser utilizada.

Tanto o *WirelessHART* quanto o padrão ISA100.11a possuem suas peculiaridades e diferenças, conforme analisado no Capítulo 3. Apesar das diferenças apresentadas as duas tecnologia foram construídas usando premissas sólidas e teoricamente robustas visto que uma é construída e aprovada internacionalmente pela IEC e a outra desenvolvida pela ISA.

Com base na robustez apresentada pelas duas tecnologias, outros fatores passam a ter um poder maior na decisão da escolha de qual será utilizada. A empresa detentora da fábrica estudada prioriza nas suas escolhas, além das características técnicas, outros pontos importantes para a manutenção como, por exemplo, a quantidade de dispositivos vendidos ou em operação, a disponibilidade de peças sobressalentes, a assistência técnica e a utilização de soluções não proprietárias, sempre que possível. Comercialmente, os pontos observados são a possibilidade de contratos de fornecimento com preço diferenciado e, também, a variedade de fabricantes ou opções no mercado para um mesmo produto. Este segundo fator é muito importante para evitar que fabricantes monopolizem o fornecimento de algum item e, neste caso, não permitam a livre concorrência, deixando assim o consumidor atrelado obrigatoriamente ao seu preço e prazo.

O *WirelessHART* foi escolhido devido à liderança na venda de equipamentos em 2012, a maior gama de fabricantes que seguem este padrão, a grande quantidade de horas destes equipamentos em operação no mundo e a quantidade de plantas no Brasil que o utilizam.

Definida a tecnologia utilizada para realizar a comparação, a busca da solução envolveu, então, a análise dos produtos disponíveis no mercado e a possibilidade de utilização desses no sistema descrito no Capítulo 4, para a comparação da instalação de equipamentos sem fio com a instalação com fio existente.

5.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS INSTRUMENTOS SEM FIO

Conforme apresentado no Capítulo 3, o *WirelessHART* possui opções de dispositivos para medição de temperatura, pressão, nível, posição, fluxo, vibração, transmissores de sinais discretos, adaptadores para instrumentos HART com cabo e *gateways*. Ao relacionar estes tipos de instrumento com a lista de instrumentos da torre de ciclones apresentada na Figura 32, é possível direcionar e reduzir a análise dos tipos de instrumento que poderão ser utilizados.

Na lista de instrumentos da torre de ciclones existem pontos de medição de temperatura, pressão, nível, posição e diversos sinais discretos. O *gateway* é uma peça inerente da topologia *mesh* desta tecnologia e não existe a possibilidade de descartá-lo. Já as medições de fluxo e vibração não possuem nenhuma aplicação na torre de ciclones estudada.

Um item que foi verificado separadamente nesta análise foram os adaptadores para instrumentos HART com cabo. Estes adaptadores possuem basicamente a função de adicionar aos instrumentos com protocolo de comunicação HART com cabo a função sem fio do *WirelessHART*. Existem dois tipos de adaptadores, os com e os sem bateria.

Os dispositivos adaptadores que não possuem módulo ou bateria funcionam única e exclusivamente para transformar o HART em *WirelessHART*. A alimentação desses adaptadores é realizada com uma fonte externa separada ou com a própria alimentação do instrumento. Os cabos do instrumento, neste caso, continuam sendo utilizados e não são substituídos por este adaptador. Isso significa que, para a comparação deste trabalho que envolve justamente a redução de cabos e materiais pela aplicação de instrumentos sem fio, esse adaptador não é adequado. Alguns fabricantes que seguem esta linha de produto são: ABB, Siemens, Phoenix Contact e Emerson Process.

Os adaptadores com bateria como, por exemplo, da Endress+Hauser e da Pepperl+Fuchs, podem utilizá-la para alimentar o próprio adaptador e o instrumento caso esse disponibilize uma porta HART. Neste caso, esses adaptadores são uma solução que pode ser aplicada neste estudo. Desta forma, ao considerar a instalação de um instrumento naturalmente sem fio, deve ser avaliada a

possibilidade e a viabilidade econômica da instalação do instrumento com cabo que possua a porta HART disponível e ser alimentado por um adaptador.

Depois de analisada previamente a lista de instrumentos e os tipos de instrumentos disponíveis no mercado, uma comparação foi feita para cada instrumento da lista para saber se os modelos atendem as aplicações específicas.

O elevador W1J01 da Figura 29, responsável por levar a farinha ao topo da torre, possui apenas três instrumentos considerados, conforme apresentado no Capítulo 4. Esses instrumentos são a chave de desalinhamento (W1J01XSH1), o sensor térmico (W1J01TSH) e o controlador de rotação (W1J01SSL1). Tanto os dois sensores indutivos quanto o sensor magnético de temperatura não possuem instrumentos sem fio que possam substituí-los. Uma solução para estes três itens é a utilização de um transmissor de sinais discretos, pois são três sinais digitais.

O transmissor de sinais discretos é um dispositivo criado justamente para tentar englobar nas tecnologias *Wireless* de campo esta fatia de mercado referente aos pontos digitais. No caso do *WirelessHART* apenas a empresa Emerson Process possui um dispositivo deste tipo em sua linha de produtos. O dispositivo da Emerson Process possui variações mas, no geral, possuem duas portas de entrada ou duas portas configuráveis, que podem ser utilizadas como duas portas de saída ou uma porta de entrada e outra de saída.

Apesar do transmissor de sinais discretos parecer uma boa solução para os casos de entradas e saídas digitais, esse possui algumas limitações que devem ser respeitadas para seu correto funcionamento, tais com, a possibilidade de ligar nas entradas digitais apenas dispositivos do tipo chave de fim de curso com contato seco. Nenhum outro tipo de entrada digital é aceito.

Sobre as limitações das saídas digitais, a principal é que o módulo de bateria deste transmissor é única e exclusivamente utilizado para o seu funcionamento e para a transmissão de dados. Deste modo, mesmo com a instalação deste transmissor sem fio, a alimentação elétrica para gerar este sinal de saída deve ser fornecida por uma fonte externa. O transmissor, então, funciona apenas como um contato que fecha ou abre o circuito conforme solicitação, limitado o chaveamento a um circuito de, no máximo, 26 V em tensão contínua e 100 mA. Caso seja necessário chavear uma tensão ou corrente maior que estes limites, um relé de interface deve ser utilizado.

Com base na descrição do transmissor de sinais discretos é possível concluir que os sensores indutivos e o sensor magnético do elevador W1J01 não atendem os requisitos para sua utilização em um sistema sem fio. Nenhum dos três também possui a opção do HART com cabo, o que impede a utilização de um adaptador. Desta forma, a substituição destes três itens neste trabalho foi desconsiderada.

Na sequência do elevador W1J01 está a válvula pneumática W1J07 na Figura 29. Seu controle é feito através de dois sensores indutivos de posição e pelo acionamento de solenoides que liberam ar comprimido para sua comutação. Os sensores indutivos, como já vistos no caso do elevador, não possuem opção de substituição por dispositivos sem fio. As válvulas solenoides também não possuem instrumentos específicos sem fio que possam substituí-las, pois são casos típicos de saídas digitais que poderiam ser substituídas pelo transmissor de sinais discretos.

Conforme visto anteriormente, as saídas digitais, mesmo com o transmissor de sinais discretos, não possuem a possibilidade de substituição total dos cabos pela bateria. Além da não substituição dos cabos, neste caso específico das válvulas solenoides, o limitante elétrico do sistema também é um problema. As bobinas de atuação dessas válvulas são padronizadas nesta fábrica com tensão de alimentação de 110 V.

Uma solução é a troca específica destas bobinas para modelos, do mesmo fabricante, com alimentação de 24 V em tensão contínua. Nesta tensão, porém, a corrente solicitada pela bobina na atuação é de aproximadamente 180 mA, maior que o limite de 100 mA possíveis de comutação do transmissor.

A outra solução neste caso é intermediar o chaveamento através de um relé de interface. No entanto, nesta forma de ligação, além da aquisição e instalação adicional do relé de interface, um novo cabo precisa ser usado para alimentar o instrumento com 24 V em tensão contínua.

Como a complexidade para realizar a instalação sem fio é maior que a instalação com fio, esta atuação das bobinas de válvulas solenoides foi descartada.

O próximo equipamento e o próximo instrumento na ordem do processo são a regueira e sua chave de nível máximo, respectivamente. Com relação a variável nível existem algumas soluções disponíveis no mercado. A Emerson Process possui uma chave de nível tipo diapasão (garfo) com a tecnologia sem fio incorporada. Apesar deste tipo de chave trabalhar tanto para sólidos quanto para

líquidos, no caso do equipamento sem fio da Emerson Process funciona apenas para líquidos. Na regueira utilizada para alimentação da torre de ciclones o material transportado internamente é estritamente sólido, fazendo com que este modelo da Emerson Process não seja aplicável.

Além da chave tipo diapasão, outra maneira de medição de nível oferecida tanto pela Emerson Process quanto pela SMAR é através de instrumentos de medição de pressão com flanges. A medição de nível utilizando a medição de pressão é normalmente utilizada em tanques com líquidos onde é possível medir seu nível através do valor da pressão, seja ela manométrica no fundo de um tanque comum ou diferencial entre dois pontos de um tanque fechado. Este caso também não se aplica ao simples sinal de nível alto de uma regueira, já que esta não se assemelha e nem se comporta como um silo ou um tanque.

Continuando o processo, estão a válvula rotativa W1J10 e a válvula gaveta W1J11 na Figura 29. Enquanto a W1J10 possui um sensor indutivo para monitoramento de sua rotação, a W1J11 possui dois sensores indutivos, do mesmo modelo, para indicação de seu estado aberto ou fechado. Seguindo o mesmo padrão dos outros equipamentos analisados, qualquer sensor indutivo foi desconsiderado nessa avaliação. A válvula W1P33 seguiu a mesma linha de raciocínio que a W1J10 e a W1J11 já que esta também é uma válvula rotativa apenas com controle de rotação por sensor indutivo.

O último equipamento pertencente à alimentação da torre de ciclones é o filtro de mangas de despoejamento com seu programador de filtro e pressostato. Como o pressostato funciona como um contato seco com atuação eletromecânica, este é um caso que pode ser utilizado o transmissor de sinais discretos no lugar da sua instalação com cabo até um o cartão de entrada digital.

O programador do filtro, que é um painel eletrônico, troca sinais com o sistema de automação. Este programador, devido à sua aplicação específica, é mais um item que não possui substituto direto sem fio. Como este programador possui um alto consumo de energia e, conseqüentemente, alta corrente porque alimenta seus circuitos eletrônicos e todas as bobinas das solenoides que comanda, o chaveamento para ligação se assemelha ao caso das válvulas solenoides da válvula W1J07. O limitante elétrico do transmissor de sinais discretos inviabiliza essa solução sem fio.

Os outros dois sinais digitais de entrada (“funcionando” e “fim de ciclo”), apesar de provenientes da placa eletrônica do equipamento, funcionam como contatos secos e ambos também podem ser substituídos por uma unidade do transmissor de sinais discretos.

Na sequência do processo da Figura 31 estão os cinco ciclones da torre estudada (W1A51 até W1A55). Cada um destes ciclones possui duas medições de temperatura e duas medições de pressão. Tanto uma como a outra variável possuem instrumentos sem fio específicos que podem substituir diretamente um instrumento instalado com cabo.

Com relação à temperatura existem vários modelos de instrumentos sem fio disponíveis no mercado. A empresa *Siemens* possui um modelo de transmissor de temperatura que pode ser instalado diretamente no local de medição ou com o sensor independente do transmissor. No caso do transmissor da *Siemens* esse permite apenas utilizar a termoresistência PT-100 como opção de elemento sensor.

A SMAR também possui um transmissor com medição tanto no local quanto de forma remota, similar ao modelo da Siemens. Porém, o equipamento da SMAR possibilita a ligação de termopares de vários tipos (B, E, J, K, N, R, S, T, L, U), entradas diversas em milivolt e termoresistências (PT-50, PT-500 e o PT-1000). Neste caso em que é possibilitada a ligação de termopares, vale citar que este transmissor faz a correção automática da junção de referência.

A Emerson Process, assim como a SMAR, possui dois transmissores em sua linha de produtos sem fio que fazem tanto a medição direta no local quanto a medição remota com sensor externo. Estes dois modelos também aceitam termopares, milivolt e termoresistências e fazem a correção da junção de referência para os termopares. Entre os dois transmissores da mesma empresa a diferença está no desempenho e nos acessórios, tais como antena estendida e *display*.

Além dos modelos de transmissores citados, a SMAR, Emerson Process e Pepperl+Fuchs também oferecem um modelo de transmissor instalado remotamente ao ponto de medição chamado de multientrada ou multitemperatura. Como o nome sugere, estes transmissores permitem a ligação de vários sensores em apenas um equipamento. O modelo da SMAR permite quatro ou oito entradas para sensores, enquanto o modelo da Emerson quatro e o modelo da Pepperl+Fuchs dois sensores.

O número de entradas destes transmissores, porém, tem algumas particularidades quando comparados aos transmissores individuais e devem ser

analisadas. O modelo da Pepperl+Fuchs é composto por quatro terminais no total e, caso uma das entradas seja uma PT-100 com três ou quatro fios, não será possível a instalação de dois sensores no mesmo equipamento. O modelo da SMAR disponibiliza três terminais para cada sensor e, neste caso, impede a instalação de itens com quatro fios.

Ao verificar no projeto, disponível no Apêndice A, as instalações dos sensores de temperatura nos ciclones é possível afirmar que existem no máximo duas medições de temperatura por laje ou pavimento na torre. Desta forma, possivelmente algumas destas aplicações de sensores multientradas não são viáveis economicamente. Apesar desta hipótese, o valor do transmissor multitemperaturas foi avaliado.

Com relação à medição de pressão dos ciclones, novamente Siemens, Emerson Process e SMAR possuem produtos relacionados a esta variável. Bastará, então, avaliar na sequência os equipamentos específicos utilizados no projeto e seus respectivos substitutos sem fio.

Na sequência dos ciclones na Figura 31 estão as válvulas divisoras (W1A81 e W1A82). Essas válvulas possuem um transmissor de posição para informar a posição parcial, duas chaves de fim de curso para informar a posição 100% desviada de cada válvula e dois sensores indutivos para indicação de sobretorque. Com relação às chaves de fim de curso, a opção comentada e que pode ser aplicada é um transmissor de sinais discretos. Transmissor este descrito nos casos anteriores e que não pode ser utilizado com os sensores indutivos.

Em se tratando da posição parcial da válvula proveniente da variável analógica, o portfólio dos fabricantes foi consultado em busca de instrumentos originalmente *WirelessHART* que tratam da variável posição. A única opção disponível foi a utilização do monitor de posição por efeito Hall que mede a variação sem utilizar contatos mecânicos, tanto para movimentos rotativos, caso da válvula analisada, como para movimentos lineares. Neste caso, tanto a Fisher Controls, uma divisão da Emerson Process, como a SMAR fornecem este tipo de transmissor.

Para as duas medições de temperatura e a medição de pressão do pré-calcinador (W1A70) na Figura 31, foram adotadas as mesmas possibilidades mencionadas para os ciclones. Esse foi também o critério adotado para o sensor de temperatura e o transmissor de pressão do duto que liga o primeiro ciclone ao ventilador de tiragem da torre.

Localizados na saída dos ciclones na Figura 31 estão os canhões de ar (W1Q10 a W1Q17) que são mais um caso de aplicação de válvula solenoide. Assim como a válvula W1J07, este caso foi descartado devido à limitação de corrente do transmissor de sinais discretos e a maior dificuldade na instalação sem fio destes itens, quando comparado com fio.

Por fim, os últimos equipamentos a serem analisados são os dois analisadores de gases J1X10Q1 e W1A50Q1 da Figura 31. Por se tratarem de equipamentos bem específicos, esses não possuem nenhuma solução sem fio disponível para substituição direta. Ao analisar o levantamento de cabos da Figura 34, é possível perceber que são vários os cabos envolvidos nos sistemas de análise de gás porém, alguns deles interligam o painel analisador com a caixa de conexões e a caixa de limpeza. Estas duas caixas fazem parte do próprio sistema e os trechos de cabos e materiais para conexão entre eles não devem ser considerados.

Além dos cabos para interconexão de peças do seu próprio sistema, os painéis analisadores de gás também são interligados ao sistema de automação para a troca de alguns sinais discretos. Como um painel fica instalado no topo da torre e o outro mais próximo do início da torre, nesta fábrica ambos foram instalados ao lado das estações remotas de automação, facilitando a troca de sinais e aproveitando uma mesma estrutura física para proteção de ambos contra intempéries.

Por estarem localizados ao lado das estações remotas, são utilizados poucos materiais para conexão de ambos e nesta situação não vamos avaliar a utilização de dispositivos sem fio para estes painéis. Caso aconteça de alguma das estações remotas ser totalmente substituída pelo grande número de sensores sem fio, estes sinais dos analisadores serão considerados via transmissor de sinais discretos.

Em resumo, os itens que tem possibilidade e devem ser analisados depois da análise prévia são apresentados na Figura 40.

Equipamento	Instrumento		
	TAG	Item com cabo	Solução sem fio
W1P31	W1P31PSL	Pressostato	Transmissor de Sinais Discretos
	W1P31Q1	Programador do Filtro de Mangas	Transmissor de Sinais Discretos
W1A5x (x = 1, 2, 3, 4, 5)	W1A5xPT1	Transmissor de Pressão	Transmissor de Pressão
	W1A5xTE1	Termopar tipo K	Transmissor de Temperatura
	W1A5xPT2	Transmissor de Pressão	Transmissor de Pressão
	W1A5xTE2	Termopar tipo K	Transmissor de Temperatura
W1A70	W1A70PT1	Transmissor de Pressão	Transmissor de Pressão
	W1A70TE1	Termopar tipo K	Transmissor de Temperatura
	W1A70TE2	Termopar tipo K	Transmissor de Temperatura
Duto entre W1A51 e W1J02	W1A50PT1	Transmissor de Pressão	Transmissor de Pressão
	W1A50TE1	Termopar tipo K	Transmissor de Temperatura
W1A81	W1A81ZSH	Chave fim de curso	Transmissor de Sinais Discretos
	W1A81ZSL	Chave fim de curso	Transmissor de Sinais Discretos
	W1A81ZT	Transmissor de Posição	Transmissor de Posição
W1A82	W1A82ZSH	Chave fim de curso	Transmissor de Sinais Discretos
	W1A82ZSL	Chave fim de curso	Transmissor de Sinais Discretos
	W1A82ZT	Transmissor de Posição	Transmissor de Pressão

Figura 40 – Relação de instrumentos com aplicabilidade sem fio.
Fonte: Autoria própria.

5.2 AVALIAÇÃO ESPECÍFICA DOS INSTRUMENTOS

Com base na relação de instrumentos da Figura 40, uma análise da relação custo-benefício foi realizada em cada um dos casos para verificar onde a aplicação de instrumentos sem fio é realmente viável.

Todo tipo de comparação que envolve valores monetários deve ser feita com cuidado, pois muitas vezes os preços podem não estar em uma mesma base, seja ela de impostos, do ano de aquisição, da moeda e sua cotação, da região em que foi adquirido e o frete embutido ou não no preço final. Além destas diferenças, muitas empresas podem ter contratos de fornecimento específico com preço fixo com alguns fabricantes, que pode mudar o resultado de uma comparação.

Desta forma, as análises foram realizadas com valores líquidos médios dos materiais, ou seja, isentos de impostos e encargos e com base no banco de dados do histórico de compras da empresa analisada. Para as comparações foram utilizadas equações que permitirem que as análises posteriores para uma torre, igual ou similar, continuem válidas mesmo com atualização e mudança de valores.

Os serviços considerados tiveram como base, também, valores históricos unitários de montadoras eletromecânicas de mercado.

As variáveis adotadas nas equações foram padronizadas para todas as análises, assim como os valores dos materiais e serviços, conforme apresentado na Figura 41.

Descrição	Variável	Valor (R\$)
Materiais		
Cabo 1x1T#0,75mm ² , PVC, 300V	C1	R\$ 2,29
CABO DE COMPENSAÇÃO, PVC, 300V	C2	R\$ 4,15
Cabo 1x2C#1,0mm ² , PVC, 450/750V	C3	R\$ 1,15
Cabo 1x3C#1,0mm ² , PVC, 450/750V	C4	R\$ 1,49
Cabo 1x5C#1,0mm ² , PVC, 450/750V	C5	R\$ 2,32
Cabo 1x7C#1,0mm ² , PVC, 450/750V	C6	R\$ 3,12
Cabo 1x15C#1,0mm ² , PVC, 450/750V	C7	R\$ 6,84
Eletroduto rígido de aço carbono, semi pesado, com costura, cordão de solda interna removido, galvanizado a fogo, sem rebarba e com superfícies internas isentas de arestas, rosca NBR-6414 (BSP) fornecido em peças de 3 metros com uma luva em uma extremidade e unidade protetora na outra, fabricado conforme NBR-5598 da ABNT.	3/4"	E1 R\$ 21,54
	1"	E2 R\$ 29,95
	1.1/2"	E3 R\$ 48,93
Buchas de acabamento para eletroduto, fabricada em borracha anti-chama e anti-corrosiva, de alta resistência mecânica para instalação ao tempo, fixação por encaixe sob pressão	3/4"	B1 R\$ 1,34
	1"	B2 R\$ 1,49
	1.1/2"	B3 R\$ 1,94
Luva para eletroduto, tipo pesado, fabricado em ferro nodular galvanizado, rosca interna, para junção de eletrodutos. Roscas tipo BSP.	3/4"	L1 R\$ 1,31
	1"	L2 R\$ 1,75
	1.1/2"	L3 R\$ 4,09
Grampo "U", para fixação de eletroduto, fornecido com porcas e arruelas de pressão. Galvanizado a fogo. Roscas tipo WW.	3/4"	G1 R\$ 1,13
	1"	G2 R\$ 1,13
	1.1/2"	G3 R\$ 1,43
Perfil "L" de aço, galvanizado a quente, abas iguais, pontas aparadas	1.1/2"x1.1/2"x1/4"	P1 R\$ 17,65
Fixador singelo (braçadeira) com cunha de aperto, fabricado em chapa de aço galvanização eletrolítica conforme ABNT.	3/4"	F1 R\$ 0,47
	1"	F2 R\$ 0,41
Chumbador de aço com bico e rosca interna, completo com bucha de expansão para fixação em concreto.	1/4"	CH1 R\$ 1,32
Parafuso cabeça redonda fendida, fabricado em aço, galvanização eletrolítica, rosca total conforme DIN11 (WW), diâmetro x comprimento.	1/4" x 3/4"	PA1 R\$ 0,11
Arruela lisa circular de aço galvanizado a fogo, conforme ABNT.	1/4"	A1 R\$ 0,08
Perfilado perfurado (canaleta), chapa de 12 MSG, aço galv. a fogo, conforme ABNT.	38x38x6000mm	PE1 R\$ 61,26
Prensa cabo fabricado em liga de alumínio com bucha de neoprene, para aperto de cabos. Roscas externas e interna. IP 65. Roscas tipo NPT.	1/2"	PR1 R\$ 2,51
Porca sextavada em aço, galvanização eletrolítica, rosca "WW" conforme ABNT.	1/4"	PO1 R\$ 0,06
Serviços		
Metro lançado - Cabos controle e instrumentação - todas as bitolas	S1	R\$ 5,46
Metro instalado/montado - Eletroduto Ø3/4" a 2"	S2	R\$ 49,14
Unidade instalada - Instrumentos digitais ou analógicos	S3	R\$ 328,10

Figura 41 – Relação valores dos materiais e serviços aplicados.
Fonte: Autoria própria.

Para comparação do preço entre os instrumentos foram considerados os instrumentos da Emerson Process por esta ser a empresa com a maior gama de instrumentos, por atender todos os itens que foram estudados e por ser a única fabricante do transmissor de sinais discretos. Para a especificação dos modelos dos instrumentos sem fio foram analisados os códigos dos itens utilizados com cabo e montados os códigos da Emerson Process equivalentes para *WirelessHART*. O resultado desta análise, feita utilizando as tabelas de especificação disponíveis nos sites dos fabricantes, gerou uma lista com as opções dos instrumentos com e sem fio, conforme Figura 42. Nessa figura também são referidas as variáveis que foram utilizadas nas equações das análises e o valor de cada item.

Instrumentos			
Tipo - Fabricante - Código	Cabo	Variável	Valor (R\$)
Pressostato - Schneider - XML-B010A2S11	Sim	PSL	R\$ 418,94
Programador de Filtro - SANTEC - V4.1	Sim	PRF	R\$ 881,25
Chave Fim de Curso - Schneider - XC2-JC4+ZC2JE04+ZC2JY31	Sim	CH1	R\$ 415,15
Transmissor de Posição - Camille Bauer - 708-114D	Sim	TPO1	R\$ 5.622,75
Transmissor de Pressão - SMAR - LD301M-21I-TD11-011- A0/D0/G0/H0/J0/M0/Y2/I5/P0	Sim	TP1	R\$ 2.126,45
Termopar - ECIL - MM11 K-S-60-310 446-21-S-500 KNE c/bucim ajustável	Sim	TE1	R\$ 265,09
Termopar - ECIL - MM11 K-S-60-310 446-21-S-1000 KNE c/bucim ajustável	Sim	TE2	R\$ 376,56
Transmissor de Sinais Discretos - Emerson - 702DX22D1NAWA3WK1B4	Não	TSD	R\$ 3.225,60
Transmissor de Pressão Wireless - Emerson - 2051TG2X2B21PWA3WP5B4M5	Não	TPW1	R\$ 5.683,20
Transmissor de Temperatura - Emerson - 248DXNADWA3WK1B4 + 0185D203K1F0110D500T44	Não	TTW1	R\$ 5.049,60
Transmissor de Temperatura - Emerson - 248DXNADWA3WK1B4 + 0185D203K1F0110D1000T44	Não	TTW2	R\$ 5.347,20
Transmissor de Temperatura s/elemento sensor - Emerson - 248DXNADWA3WK1B4	Não	TTW3	R\$ 3.446,40
Transmissor de Temperatura Multi Entradas - Emerson - 848TXI1S001WA3WK1B6HA1Q4	Não	TTW4	R\$ 9.552,00
Transmissor de Posição - Emerson - 4320-1/4300-SL1/MTG4300-R7F	Não	TPOW1	R\$ 3.907,20

Figura 42 – Relação de instrumentos com e sem cabo.
Fonte: Autoria própria (2013).

Por fim, a última premissa adotada nos itens específicos foi a não consideração dos pontos de automação na comparação individual, visto que no final uma comparação geral pode ser feita comparando todos os pontos contra o número de *gateways* ou repetidores que o sistema considerado.

5.2.1 Pressostato

O pressostato (W1P31PSL) foi incluído neste estudo por se tratar de uma chave de fim de curso, caso em que pode ser substituído pelo transmissor de sinais discretos. Os materiais utilizados exclusivamente para a montagem e ligação do pressostato com cabo, conforme Figura 34 e Figura 36 são:

- Cabo 1x3C#1,0mm² – 23 metros (denominado variável C4);
- Eletroduto 3/4" – 4,8 metros (denominado variável E1);
- Buchas de acabamento de eletroduto 3/4" - 02 peças (denominado variável B1);
- Luva p/eletroduto 3/4" – 01 peça (denominado variável L1);
- 03 peças – Grampo U 3/4" (denominado variável G1);
- Perfil "L" - 1.1/2"x1.1/2"x1/4" – 480 milímetros (denominado variável P1).

Todos os itens citados são comprados de forma unitária, com exceção dos eletrodutos em que a aquisição é feita por barras de três metros. Por este motivo, na avaliação do pressostato serão consideradas duas barras inteiras. O serviço de instalação de eletrodutos, no entanto, é cobrado pelo metro instalado.

Os serviços inclusos neste caso serão:

- Lançamento por metro de cabo de baixa tensão (denominado variável S1);
- Montagem por metro de eletroduto com acessórios (denominado variável S2);
- Serviço de instalação de instrumento (denominado variável S3);

O transmissor de sinais discretos utilizado para a comparação entre os sistemas com fio e sem fio é da empresa Emerson Process, pois apenas este fabricante possui um tipo de equipamento que realiza esta função com tecnologia WirelessHART. A Emerson Process possui quatro modelos diferentes deste equipamento e, no caso do pressostato, a linha Emerson 702DX22 atende a necessidade nessa aplicação.

A diferença entre os modelos está nos tipos de funções que podem ser requisitadas para cada conexão do transmissor com o instrumento, podendo ser duas entradas simples discretas (caso da linha 702DX22), duas entradas discretas com função contador, duas portas configuráveis para entrada ou saídas discretas ou uma porta especial para detecção de vazamento de hidrocarbonetos líquidos. Com exceção do último caso, todos os demais modelos são ofertados com duas conexões. Apesar do pressostato utilizar apenas uma das conexões disponíveis, a outra não pode ser aproveitada pois o instrumento mais próximo é o programador do filtro e este necessita de dois pontos livres.

Os materiais para fixação do transmissor de sinais discretos foram considerados no fornecimento do instrumento. O cabo de interconexão entre os equipamentos não foi considerado devido a pequena quantidade necessária.

Como não ocorreu a substituição do pressostato por outro instrumento naturalmente sem fio, o serviço de montagem do pressostato e o serviço de instalação do próprio transmissor de sinais discretos foram considerados.

Sendo X' o valor da instalação com cabo, considerando o valor dos materiais e o valor dos serviços, e Y' o valor dos serviços da instalação sem fio e considerando as informações apresentadas na Figura 41, as equações (1) e (2) apresentam como foi realizado o cálculo desses valores para o pressostato (W1P31PSL). Todas as informações financeiras desse trabalho são apresentadas na unidade monetária brasileira, o Real (BRL).

$$X' = [23 \times C4 + 2 \times E1 + 2 \times B1 + 1 \times L1 + 3 \times G1 + 0,48 \times P1] + [23 \times S1 + 4,8 \times S2 + 1 \times S3] \quad (1)$$

$$Y' = [2 \times S3] \quad (2)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (1) obtêm-se o valor de R\$ 93,20, relativo aos materiais, e R\$ 689,55, relativo aos serviços, totalizando R\$ 782,76 para a instalação com cabo. Para a instalação sem fio, substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (2) obtêm-se o valor de R\$ 656,21.

Sendo A' e B' o valor dos instrumentos com cabo e o valor dos instrumentos sem cabo, respectivamente, e considerando as informações apresentadas na Figura 42, as equações (3) e (4) apresentam como foi realizado o cálculo desses valores para o pressostato (W1P31PSL).

$$A' = [1 \times PSL] \quad (3)$$

$$B' = [(1 \times PSL) + (1 \times TSD)] \quad (4)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (3) obtêm-se o valor de R\$ 418,94 para os instrumentos com cabo e na equação (4) obtêm-se o valor de R\$ 3.644,54 para os instrumentos sem fio.

5.2.2 Programador de Filtro de Mangas (W1P31Q1)

A análise prévia do programador de filtro de mangas (W1P31Q1) apresentou a possibilidade de utilização de um transmissor de sinais discretos para transmitir dois sinais de *status* ao sistema de automação da fábrica.

Com base na Figura 34 e Figura 36, os materiais utilizados exclusivamente para a montagem e ligação deste painel são:

- Cabo 1x5C#1,0mm² – 23 metros (denominado variável C5);
- Eletroduto 3/4" – 7,3 metros (denominado variável E1);
- Buchas de acabamento de eletroduto 3/4" – 02 peças (denominado variável B1);
- Luva p/eletroduto 3/4" – 02 peças (denominado variável L1);
- Grampo U 3/4" – 06 peças (denominado variável G1);
- Perfil "L" - 1.1/2"x1.1/2"x1/4" – 960 milímetros (denominado variável P1).

Os serviços inclusos neste caso são iguais ao caso do pressostato:

- Lançamento por metro de cabo de baixa tensão (denominado variável S1);
- Montagem por metro de eletroduto com acessórios (denominado variável S2);
- Serviço de instalação de instrumento (denominado variável S3).

Assim como no caso do pressostato, os materiais para fixação do transmissor de sinais discretos foram incluídos, desconsiderando apenas o cabo para interconexão dos dois equipamentos. Novamente, tanto o serviço de montagem do programador, quanto o serviço de instalação do próprio transmissor de sinais discretos foram considerados na comparação. O transmissor analisado também é da Emerson Process, da linha 702DX22, pois são duas entradas simples analisadas neste caso.

As equações (5) e (6), com base nas premissas da Figura 41, como foi realizado o cálculo dos valores de X' para a instalação com cabo, considerando o valor dos materiais e o valor dos serviços, e de Y' para os serviços da instalação sem fio.

$$X' = [23 \times C4 + 3 \times E1 + 2 \times B1 + 2 \times L1 + 6 \times G1 + 0,96 \times P1] + [23 \times S1 + 7,3 \times S2 + 1 \times S3] \quad (5)$$

$$Y' = [2 \times S3] \quad (6)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (5) obtêm-se o valor de R\$ 127,91, relativo aos materiais, e R\$ 812,40, relativo aos serviços, totalizando R\$ 940,32 para a instalação com cabo. Para a instalação sem fio, substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (6) obtêm-se o valor de R\$ 656,21.

Sendo A' e B' o valor dos instrumentos com cabo e o valor dos instrumentos sem cabo, respectivamente, e considerando as informações apresentadas na Figura 42, as equações (7) e (8) apresentam como foi realizado o cálculo desses valores para o programador de filtro de mangas (W1P31Q1).

$$A' = [1 \times PRF] \quad (7)$$

$$B' = [(1 \times PRF) + (1 \times TSD)] \quad (8)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (7) obtêm-se o valor de R\$ 881,25 os instrumentos com cabo e na equação (8) obtêm-se o valor de R\$ 4.106,85 para os instrumentos sem fio.

Além da comparação individual do pressostato (W1P31PSL) e do programador de filtro (W1P31Q1), caso seja optado pela utilização de soluções sem fio para os dois itens juntos, uma análise adicional deve ser feita. Esta análise equivale ao trecho compartilhado destes dois itens, mais especificamente o caminho EC-W234.

A utilização da solução sem fio não elimina todos os cabos que passam por este trecho compartilhado, pois o cabo de alimentação do programador do filtro não pode ser substituído. Apesar de não poder eliminar este trecho compartilhado, é

possível reduzir as dimensões do duto já que nesta situação passará apenas um cabo em vez de três na instalação com cabo normal.

Como nos serviços de montagem não existe diferença na instalação de dutos com diferentes espessuras, esses não sofrem alteração, limitando a análise apenas aos custos com materiais. Substituindo os materiais do caminho composto de eletrodutos de 1" por eletrodutos de 3/4" a equação (9) representa a economia gerada por esta substituição, denominada Z'. Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (9) obtêm-se o valor de R\$ 26,94.

$$Z' = [3 \times E2 + 2 \times B2 + 2 \times L2 + 6 \times G2 + 0,99 \times P1] - [3 \times E1 + 2 \times B1 + 2 \times L1 + 6 \times G1 + 0,96 \times P1] \quad (9)$$

5.2.3 Transmissores de Pressão e Termopares da Torre de Ciclones

Ao analisar os instrumentos da torre de ciclones no item 5.1, os transmissores de pressão e os termopares (W1A51 a W1A55PT/TE) foram um dos poucos tipos de itens que possuem dispositivos equivalentes naturalmente sem fio.

Como todos os ciclones apresentam uma instalação típica com dois termopares e dois transmissores de temperatura e estes vinte instrumentos se limitam a apenas três modelos diferentes, a análise foi realizada para todos para estes itens.

Com base na Figura 34 e Figura 36, a soma de todos os materiais necessários para a montagem de cada um dos instrumentos com os materiais compartilhados apenas por este grupo de instrumentos é composta de:

- Cabo de compensação para termopar – 660 metros (denominado variável C2);
- Cabo 1x1T#0,75mm² – 660 metros (denominado variável C1);
- Eletroduto 1" – 91,3 metros (denominado variável E2);
- Eletroduto 1.1/2" – 23,6 metros (denominado variável E3);

- Buchas de acabamento de eletroduto 1" – 88 peças (denominado variável B2);
- Buchas de acabamento de eletroduto 1.1/2" – 20 peças (denominado variável B3);
- Luva p/eletroduto 1" – 10 peças (denominado variável L2);
- Luva p/eletroduto 1.1/2" – 01 peça (denominado variável L3);
- Grampo U 1" – 102 peças (denominado variável G2);
- Grampo U 1.1/2" – 20 peças (denominado variável G3);
- Perfil "L" - 1.1/2"x1.1/2"x1/4" – 17075 milímetros (denominado variável P1).

Os serviços para este grupo de instrumentos são:

- Lançamento por metro de cabo de baixa tensão (denominado variável S1);
- Montagem por metro de eletroduto com acessórios (denominado variável S2);
- Serviço de instalação de instrumento (denominado variável S3).

Diferente da situação encontrada no pressostato e no programador de filtro, os serviços de instalação de instrumentos foram listados. Nos dois casos anteriores, este serviço era considerado na instalação sem fio com o valor duplicado, pois tanto o pressostato quanto o programador não foram substituídos diretamente por outro instrumento sem fio. Para os transmissores de pressão e termopares a análise foi feita substituindo os instrumentos com fio pelos instrumentos sem fio.

Sendo X' o valor apenas da instalação com cabo e Y' o valor apenas da instalação sem fio para todos os instrumentos dos ciclones e considerando as informações da Figura 41, as equações (10) e (11) representam estes custos.

$$\begin{aligned}
 X' = & [660 \times (C1 + C2) + 31 \times E2 + 8 \times E3 + 88 \times B2 + 20 \times B3 + 10 \\
 & \times L2 + 1 \times L3 + 102 \times G2 + 20 \times G3 + 17,08 \times P1] \quad (10) \\
 & + [(2 \times 660) \times S1 + (91,3 + 23,6) \times S2 + 20 \times S3]
 \end{aligned}$$

$$Y' = [20 \times S3] \quad (11)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (10) obtêm-se o valor de R\$ 6.207,12, relativo aos materiais, e R\$ 19.415,44, relativo aos serviços, totalizando R\$ 25.622,56 para a instalação com cabo. Para a instalação sem fio, substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (11) obtêm-se o valor de R\$ 6.562,05.

Sendo A' o valor apenas dos instrumentos com cabo e B' o valor dos instrumentos sem fio, as fórmulas (12) e (13) representam o valor total de cada uma das duas situações.

$$A' = [(10 \times TP1) + (5 \times TE2) + (5 \times TE1)] \quad (12)$$

$$B' = [(10 \times TPW1) + (5 \times TTW1) + (5 \times TTW2)] \quad (13)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (12) obtêm-se o valor de R\$ 24.472,75 para os instrumentos com cabo e na equação (13) obtêm-se o valor de R\$ 108.816,00 para os instrumentos sem fio.

O transmissor de temperatura da Emerson Process pode ser fornecido com o elemento sensor incorporado, situação considerada na equação (13), ou pode ser fornecido sem o elemento sensor. Nesta segunda forma, o elemento sensor é instalado externamente e este é ligado ao transmissor. Considerando a possibilidade de utilizar o mesmo termopar da instalação com cabo, porém ligado a este transmissor sem fio, a equação (14) apresenta como foi realizado esse cálculo (B''). Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (14) obtêm-se o valor de R\$ 94.504,25.

$$B'' = [(10 \times TPW1) + 5 \times (TTW3 + TE2) + 5 \times (TTW3 + TE1)] \quad (14)$$

5.2.4 Transmissores de Pressão e Termopares do Calcinador

A pré-análise dos instrumentos do calcinador apresentou instrumentos iguais aos usados nos ciclones. A quantidade neste caso é diferente porque no calcinador são duas medições de temperatura e uma de pressão (W1A70PT/TE).

Desta forma, a análise dos materiais e serviços, com base na Figura 34 e Figura 36, seguem o mesmo padrão. Os materiais utilizados nos instrumentos do calcinador são:

- Cabo de compensação para termopar – 124 metros (denominado variável C2);
- Cabo 1x1T#0,75mm² – 75 metros (denominado variável C1);
- Eletroduto 3/4" – 18,6 metros (denominado variável E1);
- Buchas de acabamento de eletroduto 1" – 12 peças (denominado variável B1);
- Luva p/eletroduto 3/4" – 04 peças (denominado variável L1);
- Fixador singelo com cunha de aperto – 14 peças (denominado variável F1).

Os serviços para este grupo de instrumentos são:

- Lançamento por metro de cabo de baixa tensão (denominado variável S1);
- Montagem por metro de eletroduto com acessórios (denominado variável S2);
- Serviço de instalação de instrumento (denominado variável S3).

As equações (15) e (16), com base na Figura 41, apresentam como foi realizado o cálculo dos valores de X' para a instalação com cabo, considerando o valor dos materiais e o valor dos serviços, e de Y' para os serviços da instalação sem fio.

$$X' = [124 \times C1 + 75 \times C2 + 7 \times E1 + 12 \times B1 + 04 \times L1 + 14 \times F1] + [(124 + 75) \times S1 + (18,6) \times S2 + 3 \times S3] \quad (15)$$

$$Y' = [3 \times S3] \quad (16)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (15) obtêm-se o valor de R\$ 773,89, relativo aos materiais, e R\$ 2.984,85, relativo aos serviços, totalizando R\$ 3.758,74 para a instalação com cabo. Para a instalação sem fio, substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (16) obtêm-se o valor de R\$ 984,31.

Sendo A' o valor dos instrumentos com cabo, B' o valor dos instrumentos sem cabo, sendo o transmissor de temperatura com elemento sensor incorporado, e B'' o valor dos instrumentos sem cabo, sendo o transmissor de temperatura sem o elemento sensor incorporado e ligado a um mesmo modelo de termopar utilizado na instalação com cabo, e considerando as informações apresentadas na Figura 42, as equações (17), (18) e (19) apresentam como foi realizado o cálculo desses valores.

$$A' = [(TP1) + (2 \times TE1)] \quad (17)$$

$$B' = [(TPW1) + (2 \times TTW1)] \quad (18)$$

$$B'' = [(TPW1) + 2 \times (TTW3 + TE1)] \quad (19)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (17) obtêm-se o valor de R\$ 2.656,63 para os instrumentos com cabo, na equação (18) obtêm-se o valor de R\$ 15.782,40 para os instrumentos sem fio, sendo o transmissor de temperatura com elemento sensor incorporado, na equação (19) obtêm-se o valor de R\$ 13.106,18 para os instrumentos sem cabo, sendo o transmissor de temperatura sem o elemento sensor incorporado e ligado a um mesmo modelo de termopar utilizado na instalação com cabo.

5.2.5 Transmissor de Pressão e Termopar do Duto de Gás

Assim como os ciclones e o calcinador, os instrumentos utilizados no duto de gás que liga o ciclone mais ao topo da torre ao ventilador de exaustão utilizam equipamentos iguais (W1A50PT/TE). Assim, tanto a análise dos materiais como dos serviços e instrumentos utilizados foi similar. Baseado na Figura 34 e Figura 36, os materiais utilizados nos instrumentos deste item são:

- Cabo de compensação para termopar – 17 metros (denominado variável C2);
- Cabo 1x1T#0,75mm² – 17 metros (denominado variável C1);
- Eletroduto 3/4" – 0,5 metros (denominado variável E1);
- Buchas de acabamento de eletroduto 3/4" – 02 peças – (denominado variável B1);
- Grampo U 3/4" – 02 peças – (denominado variável G1);
- Perfil "L" - 1.1/2"x1.1/2"x1/4" – 320 milímetros (denominado variável P1).

Os serviços para este grupo de instrumentos são:

- Lançamento por metro de cabo de baixa tensão (denominado variável S1);
- Montagem por metro de eletroduto com acessórios (denominado variável S2);
- Serviço de instalação de instrumento (denominado variável S3).

As equações (20) e (21) apresentam como foi realizado o cálculo dos valores de X' para a instalação com cabo, considerando o valor dos materiais e o valor dos serviços, e de Y' para os serviços da instalação sem fio.

$$X' = [17 \times C1 + 17 \times C2 + 1 \times E1 + 2 \times B1 + 02 \times G1 + 0,32 \times P1] + [(17 + 17) \times S1 + (0,5) \times S2 + 2 \times S3] \quad (20)$$

$$Y' = [2 \times S3] \quad (21)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (20) obtêm-se o valor de R\$ 141,61, relativo aos materiais, e R\$ 866,42, relativo aos serviços, totalizando R\$ 1.008,02 para a instalação com cabo. Para a instalação sem fio, substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (21) obtêm-se o valor de R\$ 656,21.

Sendo A' o valor dos instrumentos com cabo, B' o valor dos instrumentos sem cabo considerando o transmissor de temperatura com elemento sensor incorporado e B'' o valor dos instrumentos sem cabo considerando o transmissor de temperatura sem o elemento sensor incorporado e ligado a um mesmo modelo de termopar externo, as equações (22), (23) e (24) apresentam como foi realizado o cálculo desses valores.

$$A' = [(TP1) + (TE1)] \quad (22)$$

$$B' = [(TPW1) + (TTW1)] \quad (23)$$

$$B'' = [(TPW1) + (TTW3 + TE1)] \quad (24)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (22) obtêm-se o valor de R\$ 2.391,54 para os instrumentos com cabo, na equação (23) obtêm-se o valor de R\$ 10.732,80 para os instrumentos sem fio, sendo o transmissor de temperatura com elemento sensor incorporado, na equação (24) obtêm-se o valor de R\$ 9.394,69 para os instrumentos sem cabo, sendo o transmissor de temperatura sem o elemento sensor incorporado e ligado a um mesmo modelo de termopar utilizado na instalação com cabo.

5.2.6 Transmissor de Posição e Chaves das Válvulas

Os últimos equipamentos e conjuntos de instrumentos analisados são as válvulas divisoras da torre (W1A81 e W1A82ZT/ZSL/ZSH). Tanto a troca do transmissor de posição, quanto a adição dos transmissores de sinais discretos para as chaves de fim de curso foram consideradas. Os materiais utilizados nos instrumentos destes itens para as duas válvulas, com base na Figura 34 e Figura 36, são:

- Cabo 1x1T#0,75mm² – 140 metros (denominado variável C1);
- Eletroduto 3/4" – 21,3 metros – (denominado variável E1);
- Buchas de acabamento de eletroduto 3/4" – 24 peças – (denominado variável B1);
- Grampo U 3/4" – 18 peças – (denominado variável G1);

Os serviços para este grupo de instrumentos são:

- Lançamento por metro de cabo de baixa tensão (denominado variável S1);
- Montagem por metro de eletroduto c/ acessórios (denominado variável S2);
- Serviço de instalação de instrumento (denominado variável S3).

As equações (25) e (26) apresentam como foi realizado o cálculo dos valores de X' para a instalação com cabo, considerando o valor dos materiais e o valor dos serviços, e de Y' para os serviços da instalação sem fio.

$$X' = [140 \times C1 + 8 \times E1 + 24 \times B1 + 18 \times G1] + [140 \times S1 + (21,3) \times S2 + 6 \times S3] \quad (25)$$

$$Y' = [8 \times S3] \quad (26)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (25) obtêm-se o valor de R\$ 545,42, relativo aos materiais, e R\$ 3.779,70, relativo aos serviços, totalizando R\$ 4.325,12 para a instalação com cabo. Para a instalação sem fio, substituindo os valores apresentados na Figura 41 na equação (26) obtêm-se o valor de R\$ 2.624,82.

O valor dos instrumentos com cabo é representado por A' na equação (27) enquanto B' representa o valor dos instrumentos sem cabo na equação (28).

$$A' = [(2 \times TP01) + (4 \times CH1)] \quad (27)$$

$$B' = [(2 \times TPOW1) + (2 \times TSD) + (4 \times CH1)] \quad (28)$$

Substituindo os valores apresentados na Figura 42 na equação (27) obtêm-se o valor de R\$ 12.906,10 para os instrumentos com cabo, na equação (28) obtêm-se o valor de R\$ 15.926,20 para os instrumentos sem fio.

5.2.7 Equipamentos da Rede de Automação

Além dos instrumentos, cabos e materiais elétricos de montagem, os equipamentos necessários para interligação ao sistema de automação também devem ser analisados.

No caso de estudo analisado e conforme pode ser visto no projeto disponível no Apêndice A deste trabalho, a instalação com cabo é feita ligando os instrumentos a duas remotas em campo, uma localizada mais acima da torre e outra no início dela. Para quantificar os gastos dos equipamentos que fazem o intermédio da rede de automação com os instrumentos de campo, os pontos utilizados serão somados e a quantidade de cartões de remota será contabilizada.

Como padrão de montagem, manutenção e estoque de sobressalentes, os tipos de cartões desta fábrica e das outras fábricas que utilizam o mesmo sistema e protocolo de comunicação, neste caso o Modbus/TCP, foram padronizados. Os modelos utilizados em todas as remotas da fábrica são:

- Cartão de entradas discretas – Schneider modelo: STBDDI3725;
- Cartão de saídas discretas – Schneider modelo: STBDDO3705;
- Cartão de entradas analógicas – Schneider modelo: STBACI1400;
- Cartão de saídas analógicas – Schneider modelo: STBACO0220;
- Cartão RTD – Schneider modelo: STBART0200;

Tanto o cartão de entradas quanto o cartão de saídas discretas disponibilizam 16 pontos. No caso do cartão de entradas analógicas, 8 são os pontos disponíveis, assim como nas saídas analógicas. Já o cartão RTD permite que sejam ligados apenas dois itens nele.

Os valores de cada um destes cartões foram novamente levantados da base de dados de histórico de compras da empresa estudada, sem impostos. Os valores médios encontrados são:

- Cartão de entradas discretas (STBDDI3725): R\$ 503,21;
- Cartão de saídas discretas (STBDDO3705): R\$ 677,07;
- Cartão de entradas analógicas (STBACI1400): R\$ 1562,29;
- Cartão de saídas analógicas (STBACO0220): R\$ 965,82;
- Cartão RTD (STBART0200): R\$ 562,72;

Ao somar todos os pontos dos instrumentos analisados nos itens 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 e 5.2.6 um resumo é então gerado e disponibilizado pela Figura 43.

Origem		Entrada		Multifaixa
Equipamento	Instrumentos	Discreta	Analógica	
W1P31	W1P31PSL	1	-	-
	W1P31Q1	2	-	-
W1A5x (x = 1, 2, 3, 4, 5)	W1A5xPT1	-	5	-
	W1A5xTE1	-	-	5
	W1A5xPT2	-	5	-
	W1A5xTE2	-	-	5
W1A70	W1A70PT1	-	1	-
	W1A70TE1	-	-	1
	W1A70TE2	-	-	1
Duto entre W1A51 e	W1A50PT1	-	1	-
	W1A50TE1	-	-	1
W1A81	W1A81ZT	-	1	-
	W1A81ZSH	1	-	-
	W1A81ZSL	1	-	-
W1A82	W1A82ZT	-	1	-
	W1A82ZSH	1	-	-
	W1A82ZSL	1	-	-
Total		7	14	13

Figura 43 – Quantidade de pontos de automação possíveis de substituição. Fonte: Autoria própria (2013).

Para que a análise e os valores não sejam fracionados, os pontos serão arredondados para cima nos três casos para a quantidade de cartões. Ou seja, serão considerados, conforme Figura 43, um cartão de 16 pontos de entrada digital, dois cartões de 8 pontos para entradas analógicas e sete cartões de 2 pontos para entradas RTD, mesmo que nos três casos algumas portas não sejam utilizadas.

No caso da instalação sem fio com o *WirelessHART*, o único dispositivo necessário é, teoricamente, a *Gateway* que, além de fazer o gerenciamento da rede sem fio, comunica os instrumentos de campo e no outro lado disponibiliza a conexão para a rede de automação especificada.

Como os instrumentos fazem também o papel de roteadores de rede, dependendo da disposição dos instrumentos, teoricamente não são necessários dispositivos roteadores para construção desta rede. Os dispositivos não precisam necessariamente ter visada direta das antenas entre si devido à transmissão

omnidirecional do sinal, porém, quanto maior for a quantidade de barreiras físicas entre as antenas, naturalmente menor deverão ser as distâncias entre elas.

Segundo Emerson (2012), de maneira conservadora é possível afirmar que, em instalações reais, as distâncias entre equipamentos de acordo com o local da instalação podem ser divididas da seguinte forma:

- Alta obstrução – 30 m;
- Média obstrução – 76 m;
- Leve obstrução – 152 m;
- Sem obstrução – 230 m.

Conforme Emerson (2012), a alta obstrução se refere a plantas com condições ambientais pesadas onde não se podem executar atividades como dirigir um caminhão ou algum equipamento. Já a média obstrução é um ambiente mais leve que a alta obstrução e com espaços livres entre equipamentos e estruturas. A leve obstrução é um ambiente que pode até ter grandes construções, porém em pequenas quantidades e com vários espaços livres. Por fim, a instalação sem obstrução, como o próprio nome diz, são as situações onde são possíveis comunicações com caminho livre direto como em um campo aberto.

A torre de ciclones e as condições do ambiente de uma fábrica de cimento se encaixam na descrição de instalação de média obstrução. A torre tem no total, do nível do terreno a última laje, aproximadamente 90 metros e cada uma das sete lajes estão distanciadas sequencialmente de 13 metros na média cada.

Caso a *Gateway* fosse instalada na segunda laje (15 metros do solo) ou na quinta laje (61 metros do solo) para aproveitar a existência das remotas instalados nos containers de campo e, por consequência, a fácil conexão na rede de automação da fábrica por meio de um switch, as distâncias dos instrumentos não seriam problema.

Outro ponto importante são as disposições dos instrumentos dos ciclones. A utilização da solução sem fio destes instrumentos beneficiaria a distribuição da rede sem fio, pois os ciclones estão dispostos ao longo de toda a torre, ajudando no roteamento do sinal.

Por estes motivos, será considerada apenas a aquisição do *Gateway* e considerada a sua ligação junto a remota existente, para minimizar e desprezar os gastos com conexão e interligação ao sistema de automação.

A Emerson dispõe de dois modelos de *Gateway*, um para até 25 pontos e instalação em trilho de painel e outro para instalação externa e até 100 dispositivos a ele conectados. O primeiro modelo, Emerson 1410A1AD1WL2NA, com conexão em Modbus/TCP e antena externa para levar ao lado externo do painel e container, custa R\$ 9.465,60, sem impostos. Já o segundo modelo, Emerson 1420A1A3A2N1, com conexão também a Modbus/TCP e antena acoplada tem um custo de R\$ 12.604,80, sem impostos. Como a instalação estudada conta com 34 pontos, o *Gateway* considerado será do segundo modelo.

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS FINANCEIROS

Analisados todos os itens da instalação com cabo e da instalação sem cabo, a Figura 44 apresenta os custos das duas instalações. Nos casos onde foram apresentadas duas opções de instrumentos sem fio, a opção com menor custo foi considerada.

Instrumentos	Instalação com cabo				Instalação sem cabo			Relação: Sem Cabo / Com Cabo
	Materiais	Serviços	Instrumentos	Total	Serviços	Instrumentos	Total	
Pressostato (W1P31PSL)	R\$ 93,20	R\$ 689,55	R\$ 418,94	R\$ 1.201,70	R\$ 656,21	R\$ 3.644,54	R\$ 4.300,75	3,58
Programador de Filtro (W1P31Q1)	R\$ 127,91	R\$ 812,40	R\$ 881,25	R\$ 1.821,57	R\$ 656,21	R\$ 4.106,85	R\$ 4.763,06	2,61
Ciclones (W1A51 a W1A55PT/TE)	R\$ 6.207,12	R\$ 19.415,44	R\$ 24.472,75	R\$ 50.095,31	R\$ 6.562,05	R\$ 94.504,25	R\$ 101.066,30	2,02
Calcinador (W1A70PT/TE)	R\$ 773,89	R\$ 2.984,85	R\$ 2.656,63	R\$ 6.415,37	R\$ 984,31	R\$ 13.106,18	R\$ 14.090,49	2,20
Duto de gás (W1A50PT/TE)	R\$ 141,61	R\$ 866,42	R\$ 2.391,54	R\$ 3.399,56	R\$ 656,21	R\$ 9.394,69	R\$ 10.050,90	2,96
Válvulas (W1A81 e W1A82ZT/ZSL/ZSH)	R\$ 545,42	R\$ 3.779,70	R\$ 12.906,10	R\$ 17.231,22	R\$ 2.624,82	R\$ 15.926,20	R\$ 18.551,02	1,08
Equipamentos da Rede de Automação	-	-	-	R\$ 7.566,83	-	-	R\$ 12.604,80	1,67
Total	R\$ 7.889,16	R\$ 28.548,37	R\$ 43.727,21	R\$ 87.731,56	R\$ 12.139,80	R\$ 140.682,71	R\$ 165.427,31	1,89

Figura 44 – Valores instalação com cabo X instalação sem cabo.
Fonte: Autoria própria (2013).

Através da Figura 44, verifica-se que a instalação com cabo apresenta custo total inferior a da instalação sem fio. O custo total final da instalação com cabo, neste caso, foi de 53% do custo total da instalação sem fio.

Ao analisar as categorias destacadas por colunas da Figura 42, verifica-se que a instalação sem cabo apresenta benefícios tanto na redução de materiais como em serviços de instalação. Os instrumentos para a solução sem fio, no entanto, são

muito mais caros que os instrumentos que utilizam cabos e essa diferença, quando comparada à redução de custo obtida com materiais e serviços, é muito superior e inviabiliza a troca.

As justificativas para esta diferença podem ser vistas na Figura 42. Enquanto os instrumentos ligados com cabo em sua maioria superam o custo de R\$ 1.000,00, os itens sem fio possuem custo acima de R\$ 3.000,00. Outra justificativa é a não possibilidade de substituição de vários dos itens com cabo por soluções naturalmente sem fio, pois essas não estão disponíveis comercialmente, resultando na permanência de vários instrumentos com cabo.

Esta análise por categoria apresenta que o custo total dos materiais envolvidos na instalação sem fio representa em torno de 10% do custo total da instalação com cabo.

Para justificar este ponto, faz-se necessário analisar a Figura 41. A maior parte dos materiais possui, em geral, preços muito baixos quando comparados com itens como os eletrodutos e o perfilado perfurado. Já os cabos, que possuem um baixo preço nesta mesma referência, em caso de grandes distâncias podem se tornar um custo relevante. A mesma conclusão pode ser obtida para os serviços de lançamento de cabo e instalação de eletroduto, por serem medidos por metro.

Ao verificar os casos para cada tipo de instrumento é possível obter outros pontos interessantes. A análise das válvulas divisoras, por exemplo, foi a situação em que o custo da instalação sem fio mais se aproximou da instalação com cabo. Caso a instalação destas válvulas estivesse em uma distância maior em relação a estação remota de campo, possivelmente os custos de materiais fizessem com que a solução sem fio fosse economicamente melhor que a solução atual com cabo.

Analisando os casos do pressostato e do programador de filtro é possível verificar situação bem diferente da anterior. Ao somar os custos totais destes dois instrumentos com cabo, o valor resultante não atinge nem mesmo o valor de um único instrumento sem fio.

Quando comparadas as soluções individuais do calcinador com a do duto de gás, nota-se que a quantidade de material e serviços na situação com cabo do calcinador é maior. O calcinador possui um ponto a mais de medição de temperatura que o duto de gás, porém, a diferença de materiais e serviços não é proporcionalmente maior. Comparada com as instalações sem fio, percebe-se que o

custo da solução sem fio do calcinador é 2,2 vezes maior, enquanto no duto de gás essa relação é quase de três vezes.

Essa relação das instalações também é baixa no caso dos ciclones. Apesar da Figura 44 apresentar a diferença de R\$ 50.000,00 entre uma solução e outra, o custo da instalação sem fio é duas vezes maior que o custo da instalação com cabo. Este fator pode ser considerado baixo quando comparado, por exemplo, a instalação do pressostato.

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS TEMPORAIS

O cronograma apresentado na solução com cabo era macro e pouco detalhado em nível de máquina. Com a falta de informações por máquina, não é possível, de maneira simples, definir quais são os ganhos da solução sem cabo, já que não se sabe exatamente nem quando tempo dura a instalação com cabo.

Para resolver esta questão, a solução encontrada será aproximada, porém justificável. Serão levantadas as quantidades de cabos e bandejamentos que são economizados na solução sem fio e estes valores comparados com as quantidades de material total da torre de ciclones pela lista de cabos geral e listas de materiais por desenho do ciclone.

Com relação aos cabos, a quantidade reduzida por item é:

- Pressostato – 23 m;
- Programador de Filtro – 23 m;
- Ciclones – 1320 m;
- Calcinador – 199 m;
- Duto de Gás – 34 m;
- Válvulas divisoras – 140 m.

A somatória dos seis itens totaliza 1739 metros de cabo. Ao filtrar da lista total de cabos que engloba o silo de farinha, a torre de ciclones e o forno apenas dos cabos de campo da torre de ciclones o valor encontrado é de 10992 metros de cabo. Se, o valor total de 10992 equivale no cronograma a uma tarefa de duração de 90

dias, os 1739 metros de cabo equivalem a 14,24 dias, ou 14 dias + 1/4 de dia aproximadamente.

A relação de eletrodutos reduzida pela instalação sem fio é:

- Pressostato – 2 peças;
- Programador de Filtro – 3 peças;
- Ciclones – 39 peças;
- Calcinador – 7 peças;
- Duto de Gás – 1 peça;
- Válvulas divisoras – 8 peças.

Esta relação totaliza 60 peças de eletrodutos de 3 metros cada. A somar todas as listas de materiais por desenho da torre de ciclones, o valor encontrado é de 472 peças entre leitos e eletrodutos de 3 metros. A instalação toda tem duração de 90 dias e, proporcionalmente, as 60 peças da instalação sem cabo equivalem 11,44 dias, ou 11 dias e meio aproximadamente.

6 CONCLUSÕES

A torre de ciclones é uma parte realmente importante na fabricação do cimento. Desde sua criação e início de utilização, os ganhos com a redução de energia no processo foram realmente relevantes. A utilização no geral de poucos elementos móveis e de sua operação basicamente passiva são fatores que agregam valor a esta instalação. Sua construção é, no entanto, mais lenta e com mais interferências que os demais itens da fábrica, o que a coloca no caminho crítico da construção de uma fábrica e no foco para novas ideias e estudos.

A ideia de utilizar a comunicação sem fio não é nova e já é estudada desde muitos anos atrás, porém, com foco no nível de instrumentos de campo no meio industrial ela pode ser considerada nova ainda para muitas empresas. Seja por desconfiança ou pelo desconhecimento, o fato é que as vendas das soluções sem fio crescem a cada ano, mas ainda estão longe de um patamar relevante aos itens vendidos com ligação por cabo.

As tecnologias não proprietárias que mais se destacam, o *WirelessHART* e o padrão ISA100.11a são construídas em cima de premissas robustas de comunicação e segurança. Ambos são regidos por normas internacionais e sua padronização provém de instituições de grande renome. Estes fatos, aliados ao início da aderência de grandes fabricantes destas soluções tem popularizado e facilitado a busca por parte dos usuários por mais informações destas tecnologias.

A decisão da troca, ou não, dos instrumentos com cabo pela solução sem cabo deve ser analisada para cada situação com bastante cuidado. Os valores dos materiais e serviços devem ser bem analisados caso a caso, pois vários são os fatores que podem influenciar na vantagem econômica e temporal para uma ou outra opção.

Os tipos de materiais envolvidos nas instalações podem ser muitos, mas são poucos os que basicamente influenciam na conta final. A atenção deve ser dada principalmente aos materiais comprados por metro como os eletrodutos, perfilados e os próprios cabos. Vale resaltar que os cabos de comando e instrumentação, ao contrário dos eletrodutos, têm um valor unitário muito baixo e que ambos passam a ser importantes na comparação apenas em longos lances.

Essa mesma situação deve ser considerada também para os serviços que, mediante grandes distâncias, podem aumentar significativamente o custo total de instalação e possivelmente tornar viável a troca, já que os serviços dos instrumentos sem fio se resumem, a princípio, à sua instalação.

Com relação aos instrumentos, notou-se nas aplicações estudadas que a diferença de custo foi decisiva no valor final de cada uma das opções. No caso de instrumentos via cabo de custo mais alto, a substituição pode tornar-se mais fácil de atingir um ponto de equilíbrio economicamente. Porém, caso o instrumento seja de baixo custo de aquisição referenciado as soluções sem fio, possivelmente os materiais e serviços não compensarão economicamente esta diferença.

A gama de instrumentos, independente da tecnologia, ainda é pequena. A falta de opções eliminou vários itens da instalação original da torre de ciclones deste trabalho. Empresas com diferentes tipos de instrumentos e instrumentos muito específicos podem ter dificuldades para viabilizar, neste momento, um projeto de uma nova instalação apenas com instrumentos sem fio.

Outra dificuldade ainda existente no mercado de instalações sem fio são especificamente os instrumentos discretos. As indústrias que tem suas instalações essencialmente compostas por instrumentos digitais também provavelmente não terão um trabalho fácil para justificar financeiramente uma nova instalação sem fio. Percebeu-se pela análise do caso neste trabalho, além da falta de opções, que a única maneira de ligar instrumentos discretos é através de um transmissor de sinais com algumas limitações.

Já alguns casos podem ser mais difíceis de quantificar economicamente, mas podem trazer vantagens relativas muito importantes para algumas empresas. A possibilidade de instalação de pontos em que o cabo não poderia chegar fisicamente e a gestão dos seus ativos onde ainda não se tem o HART nem via cabo são alguns exemplos que, no caso deste trabalho, no entanto não eram relevantes.

Em se tratando de economia de tempo, os dias estimados levantados no trabalho deram a entender que essa instalação sem fio realmente traz um ganho visível no tempo de instalação. Basta, novamente, analisar caso a caso para ver se o custo que se paga a mais pela instalação de instrumentos sem fio compensaria essa redução de tempo de montagem.

Para o caso analisado da torre de ciclones, apesar de parecer uma área chamativa em uma fábrica de cimento e com grande possibilidade em um primeiro

momento de aplicação de instrumentos sem fio, a análise específica mostrou que isso não foi verdade. Impeditivos da tecnologia existente como falta de opções ou limitações de produtos existentes foram alguns dos pontos que não contribuíram para a viabilização desta opção. A baixa quantidade de materiais também influenciou bastante, visto que foram poucos os materiais que realmente seriam eliminados com a instalação sem fio.

Com base nestes pontos apresentados, a conclusão no geral é que, economicamente, a tecnologia sem fio tem maiores chances de se tornar viável em aplicações com base prevista ou instalada majoritariamente analógica, em instalações provisórias ou móveis, em instalações fixas com grandes distâncias entre pontos de medição e em instalações com quantidade razoável de instrumentos para que a rede *mesh* seja confiável e os custos com a *gateway* também sejam dissolvidos no valor total.

REFERÊNCIAS

ARC. **Wireless Devices in Process Manufacturing Worldwide**. Disponível em: <<http://www.arcweb.com/study-brochures/study-wireless-devices-process.pdf>>.

Acesso em: 20 de junho de 2013.

ALSOP, Philip A.; CHEN, Hung; TSENG, Herman H. **Cement plant operations handbook: for dry process plants**. 5. ed. Dorking: Tradeship Publications, 2007.

ABCP. **Básico sobre cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento>>. Acesso em: 05 de maio de 2013.

ALMEIDA, Felipe B. de. **Padronização da comunicação sem fio em ambientes industriais – ISA SP100**. 2009. 55f. Monografia (Especialização em automação industrial com ênfase em informática industrial, instrumentação, controle e otimização de processos contínuos) – Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade da Bahia, Salvador, 2009.

BONIFÁCIO, Tatiana G.; PANTONI, Rodrigo P.; BRANDÃO, Dennis. Análise tecnológica de redes industriais wireless. In: Congresso Internacional de Automação, Sistemas e Instrumentação, 13, 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.labsoft.com.br/arquivos/artigos/CT-183_09.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2013.

BIPM. **International Atomic Time**. Disponível em: <<http://www.bipm.org/en/scientific/tai/tai.html>>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

BOURKE, Tim. ISA100.11a Completely Obviates the Need for WirelessHART. **Petro Industry News**, St Albans, v. 9, n. 5, p. 18-19, out. 2007.

CABRITA, André F. N. **Atrasos na construção: causas, efeitos e medidas de mitigação**. 2008. 161f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

CASSIOLATO, César. WirelessHART. **Mecatrônica Atual**, São Paulo, v. 10, n. 52, p. 36-39, set., 2011a.

_____. WirelessHART e o modelo OSI. **Mecatrônica Atual**, São Paulo, v. 10, n. 53, p. 40-45, nov., 2011b.

CHAKRAVARTHI, Prakash. The History of Communications From Cave Drawings to Mail Messages, **IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine**, v. 7, n. 4, p. 30-35, abr. 1992. Disponível em: <www.ieee.org>. Acesso em: 28 de março de 2013.

CHANG, Liu; GUO GUANG, Zhang. The Design of Intelligent Temperature Transmitter Based on HART Protocol. In: International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control, 2, 2012, Harbin. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6429187>>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

CHINYAMA, Moses P. M. Alternative Fuels in Cement Manufacturing, **Alternative Fuel**, Rijeka, ago. 2011. Disponível em: <www.intechopen.com/books/alternative-fuel/alternative-fuels-in-cement-manufacturing>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

COLQUHOUN, Toby. **What's Holding Back Wireless Communication in Industry?**. Disponível em: <http://imsresearch.com/blog/Whats_Holding_Back_Wireless_Communication_in_Industry/114>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

COSTA, Márcio S.; AMARAL, Jorge L. M. Análise de redes sem fio industriais – ISA100 X WIRELESSHART. **InTech – America do Sul**, São Paulo, n. 140, p. 61-67, mai. 2012.

DENARDIN, Elio S.; OLIVEIRA, Luziane R. de. O Valor à Vida: Prevenção de Acidentes de Trabalho nas Empresas de Santa Maria. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006, Bauru. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1132.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2013.

EICHENLAUB, G. R. Smart instruments, **Proceedings of the IEEE**, v. 66, n. 4, p. 423-428, 1978. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1455203>>. Acesso em: 20 de maio de 2013.

EMERSON. **IEC 62591 WirelessHART System Engineering Guide**. Disponível em: <www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EMR_WirelessHART_SysEngGuide.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2013.

EMERSON. **Technical Note: Emerson's Smart Wireless and WIB Requirements.** Disponível em: <<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00840-0300-4420.pdf>>. Acesso em: 10 de junho de 2013.

ENNES, Juliana; NOGUEIRA, Marta. Petrobrás quer reduzir perdas com paradas não programadas. **Valor Econômico**. Rio de Janeiro, nov. 2011. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/1096728/petrobras-quer-reduzir-perdas-com-paradas-nao-programadas>>. Acesso em: 30 de março de 2013

FLSMIDTH. **Preheater calciner systems.** Disponível em: <http://www.flsmidth.com/~media/Brochures/Brochures%20for%20kilns%20and%20firing/preheater_lores.ashx>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

FLSMIDTH. **Preheating.** Disponível em: <<http://www.flsmidth.com/en-US/Products/Categories/Cement+Preheating>>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

FICICI, Ferit; ARI, Vedat; KAPSIZ, Murat. The effects of vortex finder on the pressure drop in cyclone separators, **International Journal of Physical Sciences**, v. 5, n. 6, p. 804-813, 2010. Disponível em: <www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/8465D7C27089>. Acesso em: 20 de maio de 2013.

FONSECA, Eric B. **Redes Industriais: Protocolo de comunicação HART.** 2009. 48f. Monografia (Engenharia de Computação) – Departamento de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

FONTES, Stella. Suzano tem perda de 50 mil toneladas de celulose com parada na Bahia. **Valor Econômico**. São Paulo, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/2527818/suzano-tem-perda-de-50-mil-toneladas-de-celulose-com-parada-na-bahia>>. Acesso em: 30 de março de 2013

GHAYUM, Mohamed S. A. **Comparative Study of Wireless Protocols - Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, WirelessHART and ISA SP100, and their Effectiveness in Industrial Automation.** 2010. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – University of Texas, Austin, 2010.

HAHN, Diego H. **Desenvolvimento de um ponto de acesso para redes WirelessHART.** 2011. 57f. Monografia (Engenharia de Computação) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HART COMMUNICATION FOUNDATION. **WirelessHART Technology**. Disponível em: <http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_technology.html>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

HART COMMUNICATION FOUNDATION. **Wireless Products**. Disponível em: <http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_technology.html>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

HOLCIM. **Tipos de Cimento**. Disponível em: <<http://www.holcim.com.br/produtos-e-servicos/cimento/tipos-de-cimento.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2013.

HUURDEMAN, Anton A. **The Worldwide History of Telecommunications**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2003.

IEEE. **802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-- Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)**. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2013.

IEEE. **Guidelines for 64-bit Global Identifier (EUI-64)**. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/develop/regauth/tut/eui64.pdf>>. Acesso em: 10 de junho de 2013.

IETF. **Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks - RFC 4944**. Disponível em: <https://ietf.org/doc/rfc4944/?include_text=1>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

IHS. **Company Profile**. Disponível em: <imsresearch.com/about/company-profile.php>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

IHS. **WLAN and Bluetooth Dominate Market for Wireless-Enabled Industrial Automation Equipment**. Disponível em: <http://www.imsresearch.com/press-release/WLAN_and_Bluetooth_Dominate_Market_for_WirelessEnabled_Industrial_Automation_Equipment&cat_id=113&from=>>. Acesso em: 08 de agosto de 2013.

IMS. **IHS Acquires IMS Research**. Disponível em: <press.ihs.com/press-release/corporate-financial/ihs-acquires-ims-research>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

ISA DISTRITO 4. **Distrito 4**. Disponível em: <www.isadistrito4.org.br/pt->

br/institucional/distrito-4>. Acesso em: 04 de junho de 2013.

ISA. **General Information About ISA.** Disponível em: <http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/General_Information/About_ISA1/About_ISA.htm>. Acesso em: 04 de junho de 2013.

ISA. **ISA100, Wireless Systems for Automation.** Disponível em: <www.isa.org/MSTemplate.cfm?MicrositeID=1134&CommitteeID=6891>. Acesso em: 04 de junho de 2013.

ISA. **ISA-100.11a-2011 Wireless systems for industrial automation: Process control and related applications.** Disponível em: <<http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Standards8&template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=11931>>. Acesso em: 10 de junho de 2013.

ITU. **Radio Regulations - Edition of 2012.** Disponível em: <<http://www.itu.int/pub/R-REG-RR-2012>>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

KHADER, Osama; WILLIG, Andreas; WOLISZ, Adam. WirelessHART TDMA Protocol Performance Evaluation Using Response Surface Methodology. In: International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, 1, 2011, Barcelona. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6103035>>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

KHD. **KHD Preheater.** Disponível em: <<http://www.khd.com/preheater.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

KURDOWSKI, W.; SOBOŃ, M. Mineral Composition of Build-up in Cement Kiln Preheater. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Holanda, v.55, n.3, ago. 1999. Disponível em: <link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1010118824904>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

LENNVALL, Tomas; SVENSSON, Stefan; HEKLAND, Fredrik. A Comparison of WirelessHART and ZigBee for Industrial Applications. In: International Workshop on Factory Communication Systems 1, 2008, Dresden. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4638746>>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

MARTI, Andy. Air cannons hammer preheater build-up at Ash Grove Nebraska cement plant. **Port Technology International**, Londres, 2011. Disponível em:

<http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical_papers/PT50-07.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

MARTIN. **Success Stories**. Disponível em: <www.martin-eng.com/success-story>. Acesso em: 18 de maio de 2013.

NIST. **Advanced Encryption Standard (AES) (FIPS PUB 197)**. Disponível em: <<http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips191/fips191.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2013.

NIXON, Mark. **A Comparison of WirelessHART and ISA100.11a**. Disponível em: <<http://www.controlglobal.com/assets/12WPpdf/120904-emerson-wirelesshart-isa.pdf>>. Acesso em: 30 de junho de 2013.

NOBES, Thomas S. Functional safety of smart instruments - a user perspective. In: *Is Your Product Safe?*, 10724, 2004, Londres. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1514209>>. Acesso em: 20 de maio de 2013.

NOBRE, Marcelo H. R. **Análise de Desempenho Baseada em Simulação de Redes WirelessHART**. 2011. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PEREIRA, Sílvia S. A realidade da comunicação sem fio. **InTech – America do Sul**, São Paulo, n. 140, p. 68-74, mai. 2012.

PETERSEN, Stig; CARLSEN, Simon. WirelessHART Versus ISA100.11a: The Format War Hits the Factory Floor, **Industrial Electronics Magazine**, v. 5, n. 4, p. 23-34, 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6102417>>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

PILON, Valcir A. **Estudo para aplicação de redes sem fio no ambiente industrial**. 2009. 51f. Monografia (Especialização em automação industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

RIBEIRO, Rosemeri. **Calcário para Cimento**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/calcario-para-cimento>>. Acesso em: 05 de maio de 2013.

RIEGO, Henrique B. **Redes sem fio na indústria de processos: oportunidades e desafios**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RHODES, Martin. **Introduction to Particle Technology**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2008.

SALOMÃO, Rafael; PANDOLFELLI, Victor C. Hidração e desidratação de óxido de magnésio em concretos refratários, **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 330, abr. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132008000200003&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 10 de maio de 2013.

SANTANA, Vilma S; ARAÚJO-FILHO, José B.; ALBUQUERQUE-OLIVEIRA, Paulo R.; BARBOSA-BRANCO, Anadergh. Acidentes de trabalho: custos previdenciários e dias de trabalho perdidos, **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 6, dez. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-89102006000700007&script=sci_arttext>. Acesso em: 30 de abril de 2013.

SANTI, Auxiliadora M. M. **Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: investigação no maior polo produtor de cimento do país, região metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para segurança química**. 2003. 227f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SARKAR, Tapan K.; MAILLOUX, Robert J.; OLINER, Arthur A.; SALAZAR-PALMA, Magdalena; SENGUPTA, Dipak L. **History of Wireless**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2006.

SHALABY, Hemdan H. **On the potential of large eddy simulation to simulate cyclone separators**. 2007. 121f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Department of Mechanics, Chemnitz University Of Technology, Chemnitz, 2007.

SHELTON, Jeff. A proven solution: Multiple-port, **International Cement Review**, Dorking, nov. 2011. Disponível em: <http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical_papers/PT50-07.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

SILVA, Gustavo V. M. da. **As redes de campo em Instrumentação e Controle**

industrial. 1. ed. Lisboa: Electrónica, 2004.

SILVA, Rogério J. da. **Análise energética de plantas de produção de cimento Portland.** 1994. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

SIMONS, Robert. W. Guglielmo Marconi and Early Systems of Wireless Communication, **GEC REVIEW**, v. 11, n. 1, p. 37-55, 1996. Disponível em: <<http://library.open-energy.ws/files/-%20Science/Guglielmo%20Marconi/Marconi-A-History.pdf>>. Acesso em: 28 de março de 2013.

SIQUEIRA, Ligia C. G. de. **Avaliação do impacto das emissões de metais geradas no coprocessamento de resíduos em fábricas de cimento.** 2005. 334f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SMAR. **Os Benefícios do Protocolo de Comunicação HART® em Sistemas de Instrumentação Inteligentes.** Disponível em: <www.smar.com/brasil/hart.asp>. Acesso em: 30 de maio de 2013.

SCHMIDT, Garrett. **Getting the Most Out of Your WirelessHART System.** Disponível em: <http://www.phoenixcontact.net/microsites/wireless-hart/download_eng/Getting_Most_Outof_WirelessHART_System.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2013.

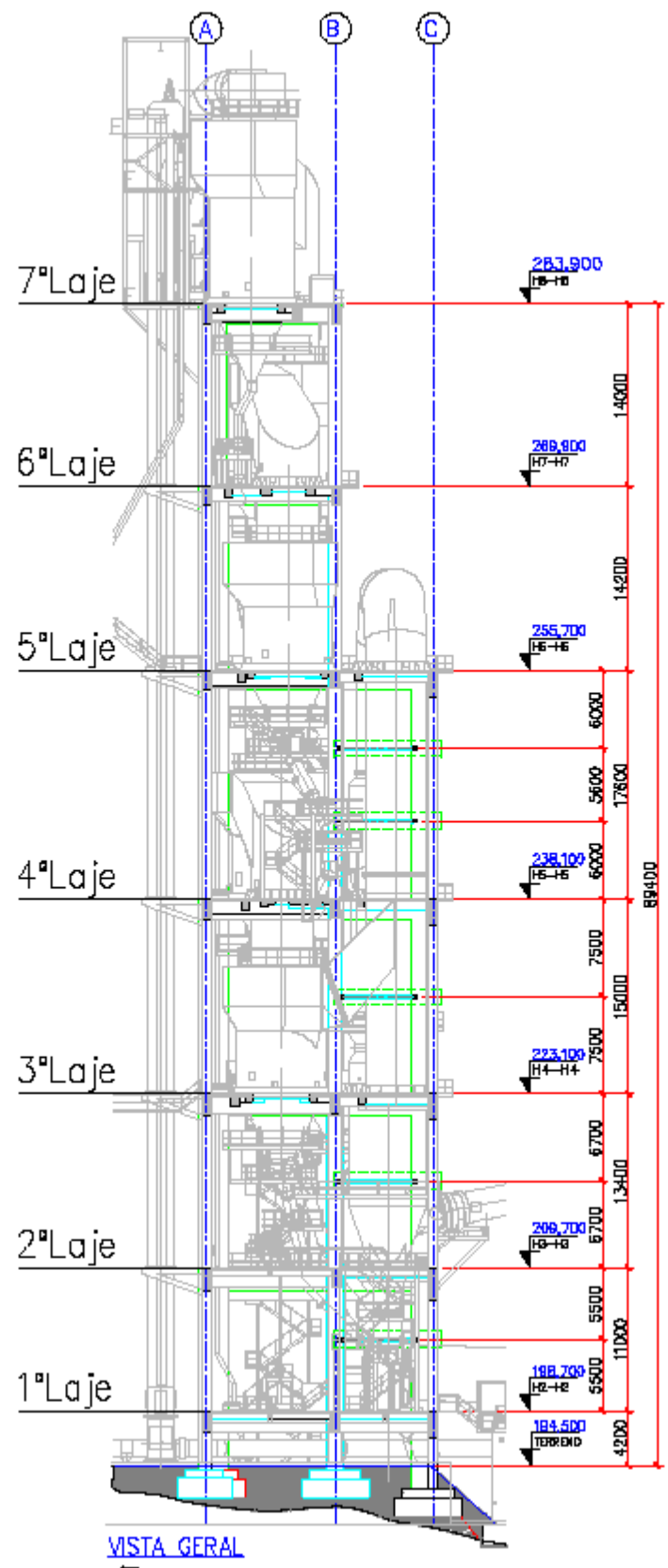
VOTORANTIM CIMENTOS. **Processo de fabricação do cimento.** Disponível em: <http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/Cimento_procFabricacao.html>. Acesso em: 05 de maio de 2013.

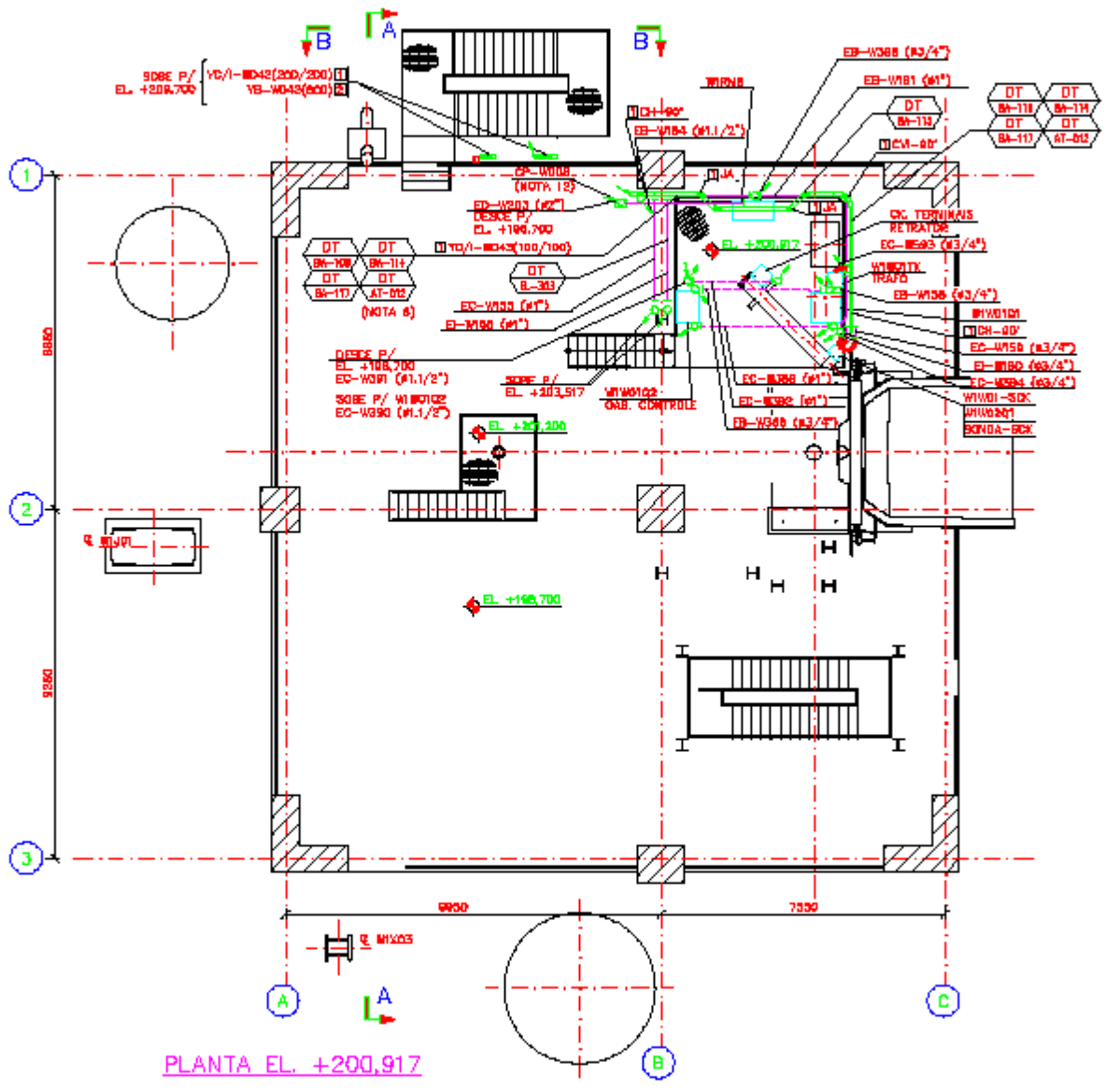
WANG, Lingjuan. **Theoretical study of cyclone design.** 2004. 137f. Tese (Doutorado em Philosophy) – Texas A&M University, Texas, 2004.

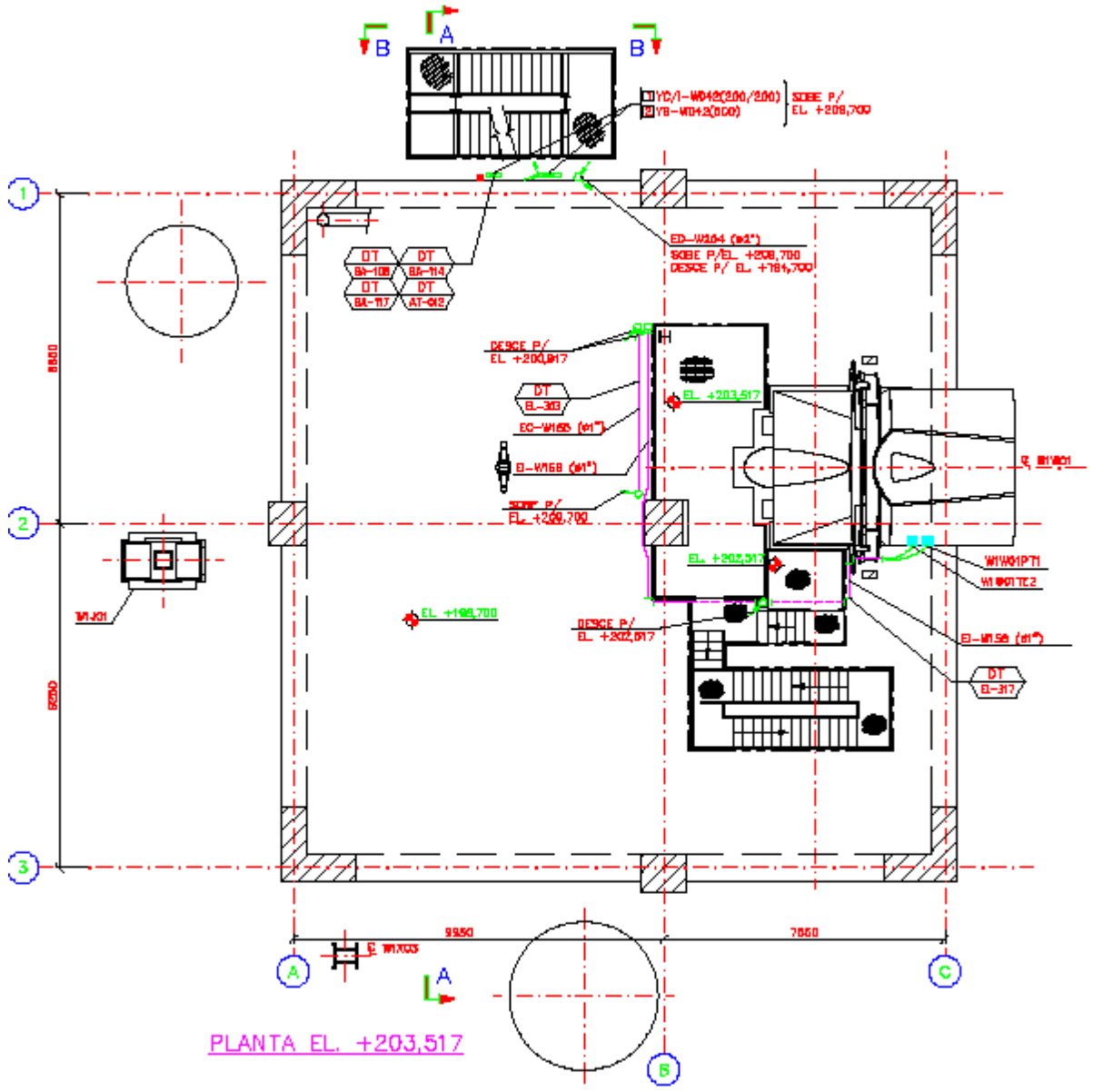
WEG. **Nova fábrica da Votorantim em SC conta com soluções WEG.** Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Media-Center/Noticias/Produtos-e-Solucoes/Nova-fabrica-da-Votorantim-em-SC-conta-com-solucoes-WEG>>. Acesso em: 29 de março de 2013.

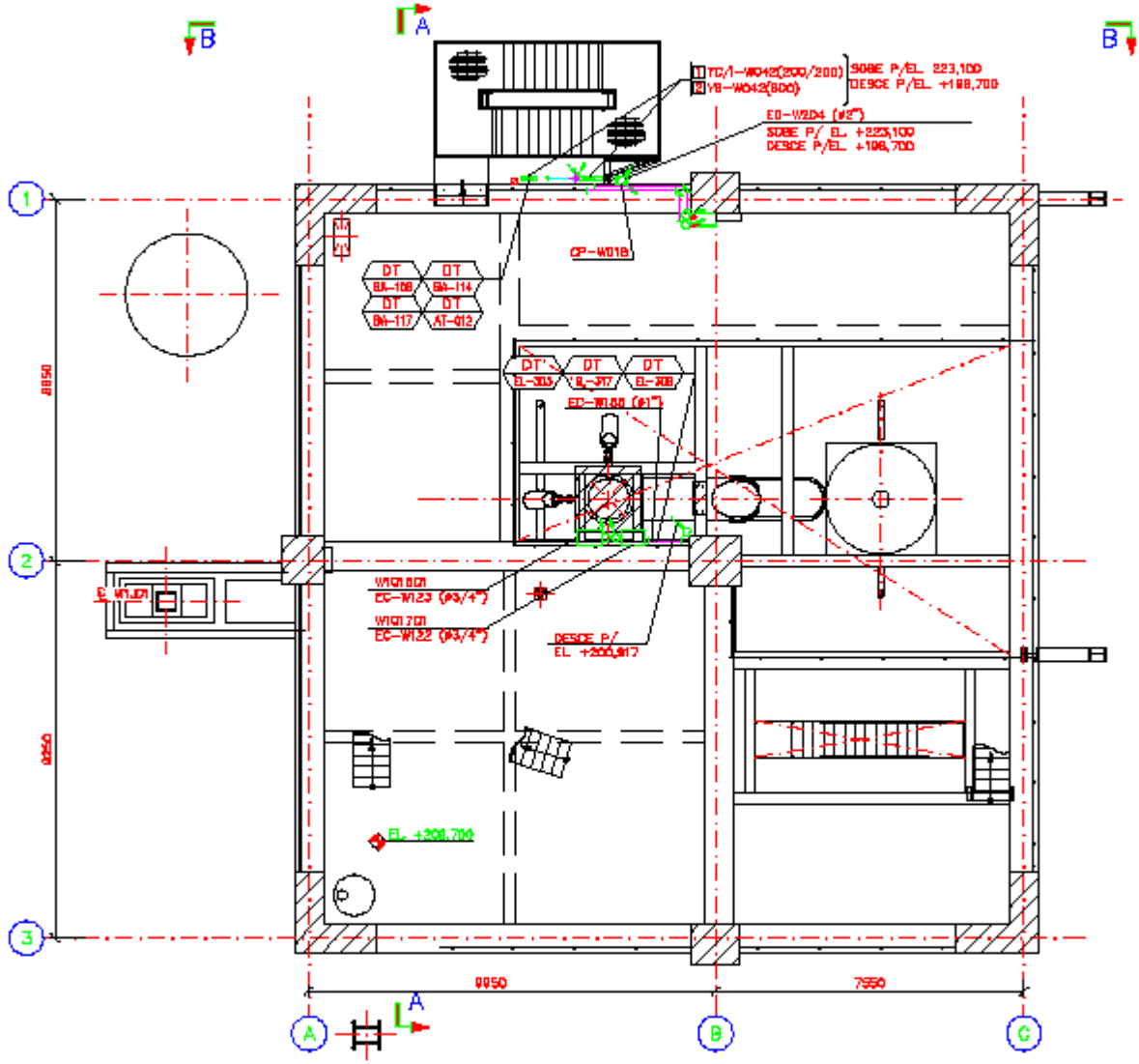
WILLS, Willian; ROVERE, Emilio L. L. **Perspectivas dos Investimentos Sociais no Brasil: Indústria de Cimento.** Disponível em: <<http://web.cedeplar.ufmg.br/cedeplar/site/pesquisas/pis/Estudo%2061.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

APÊNDICE A – PARTES DO PROJETO ELÉTRICO

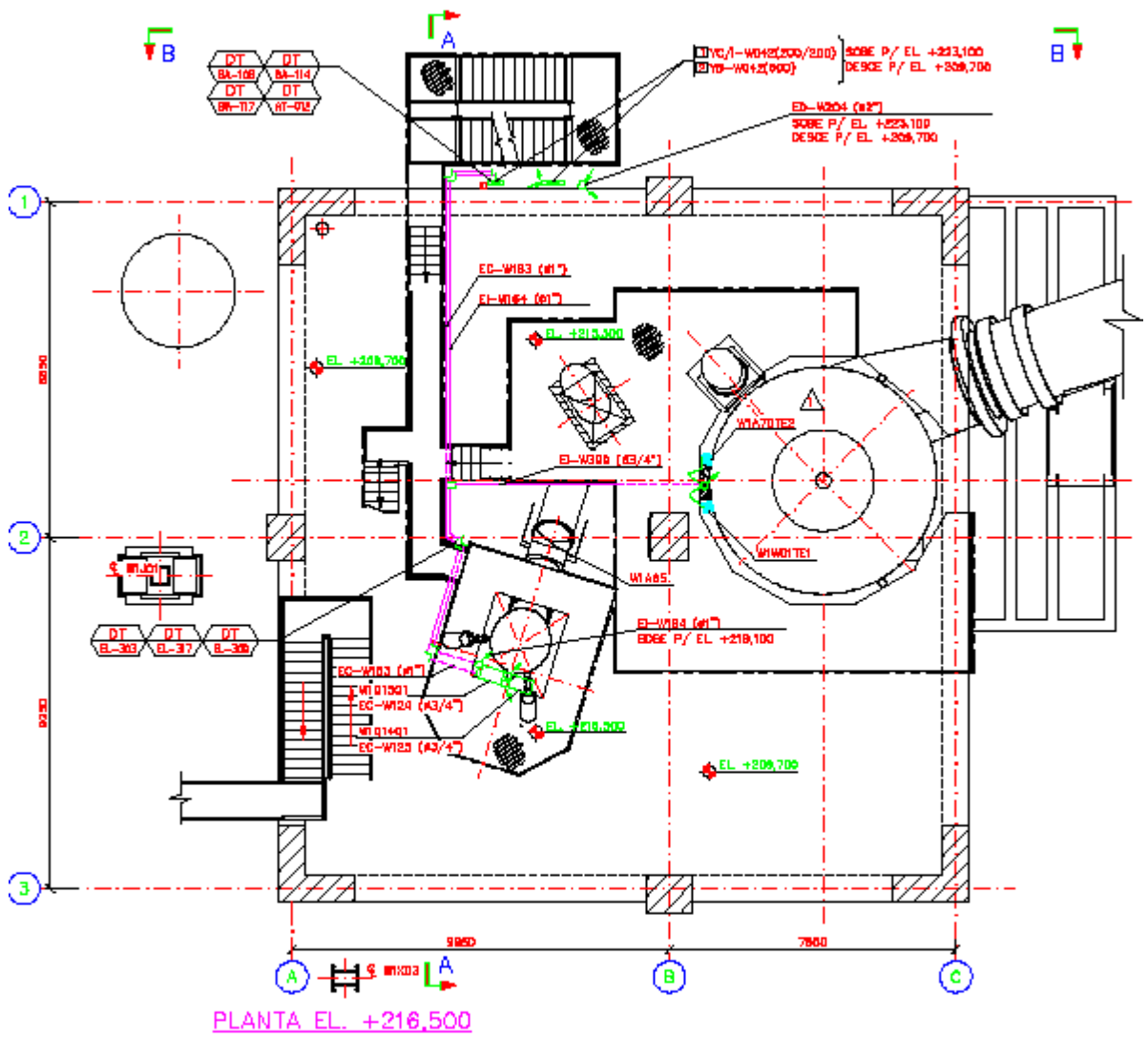


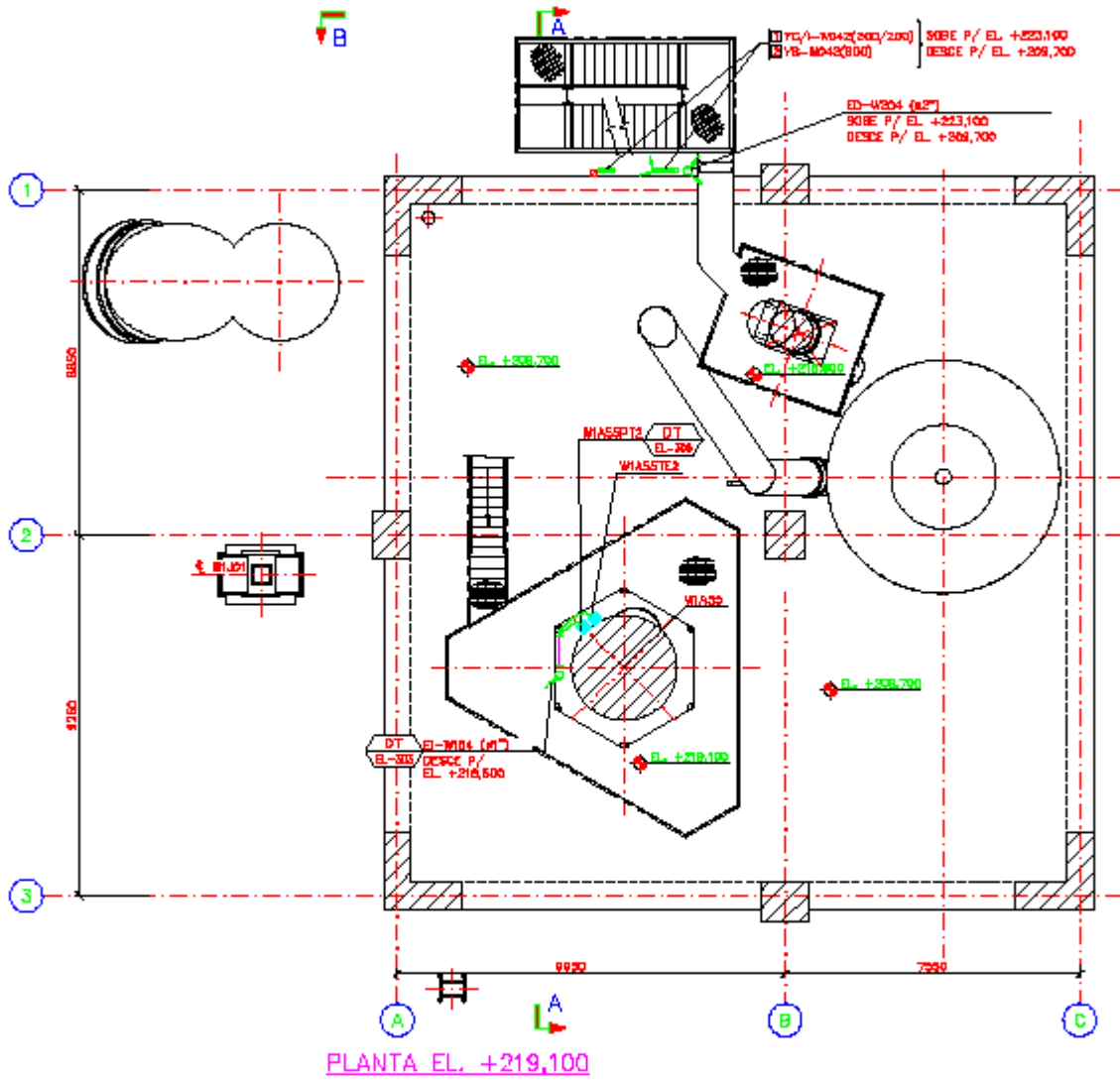


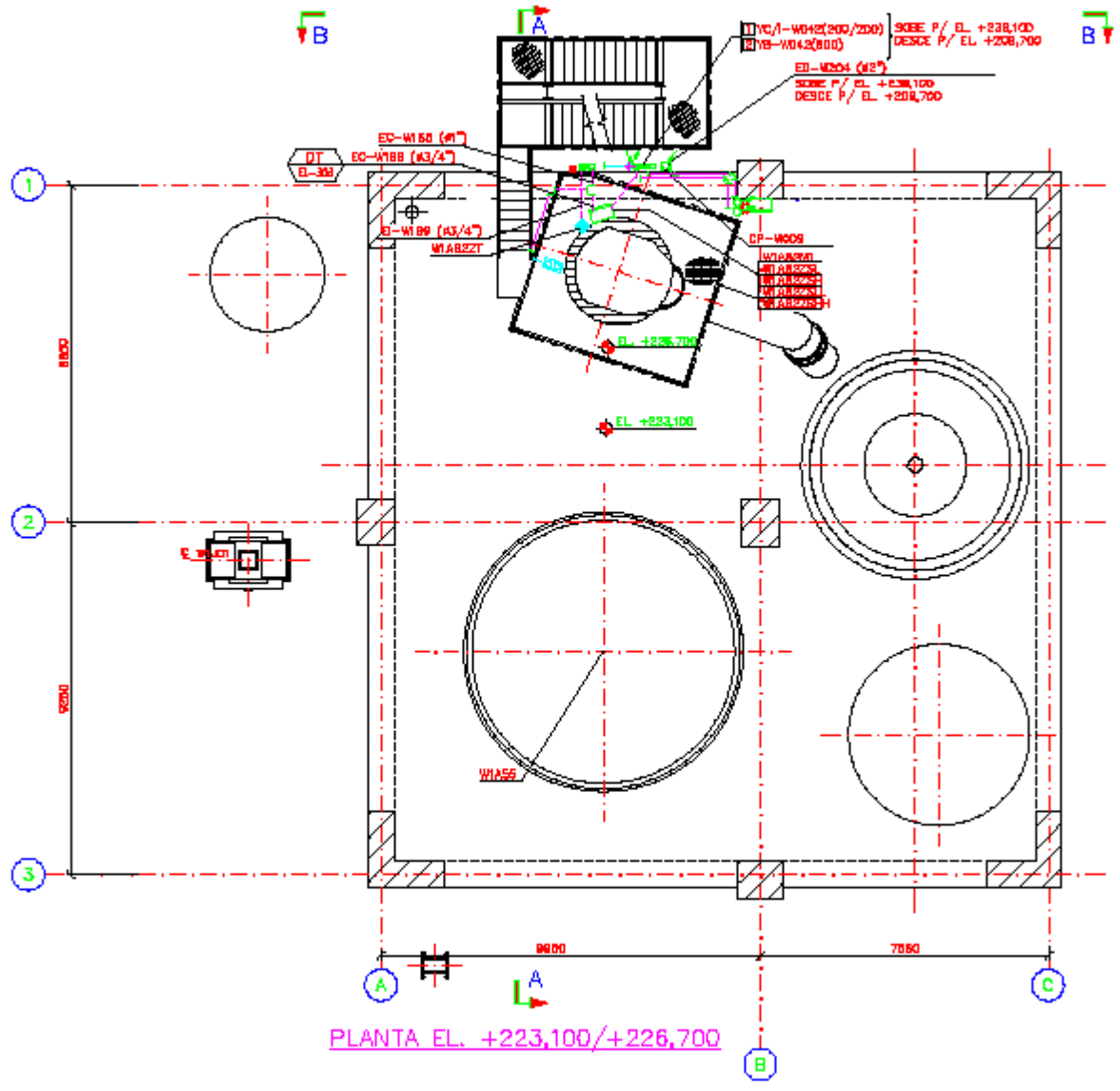


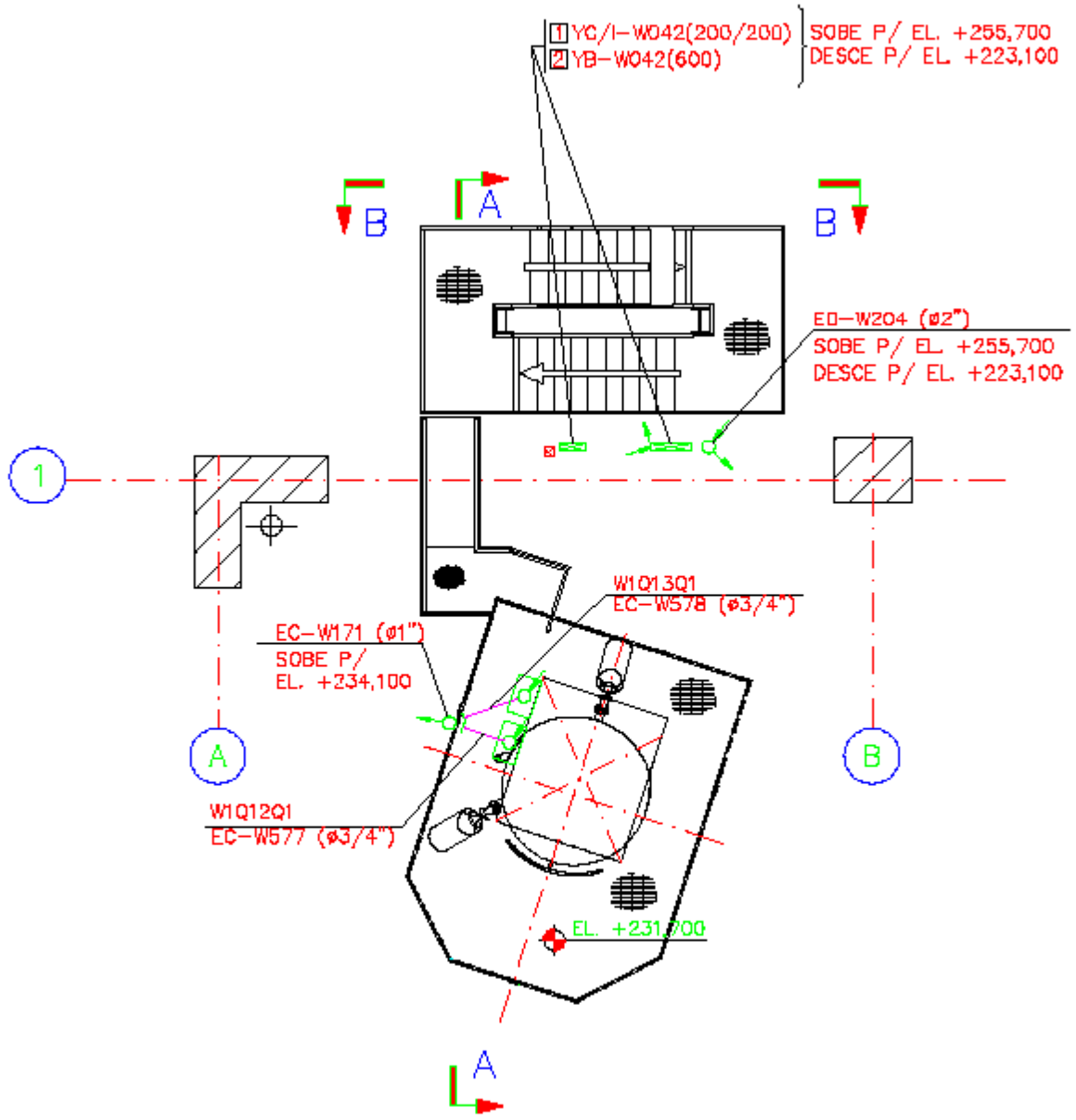


PLANTA EL. +209,700

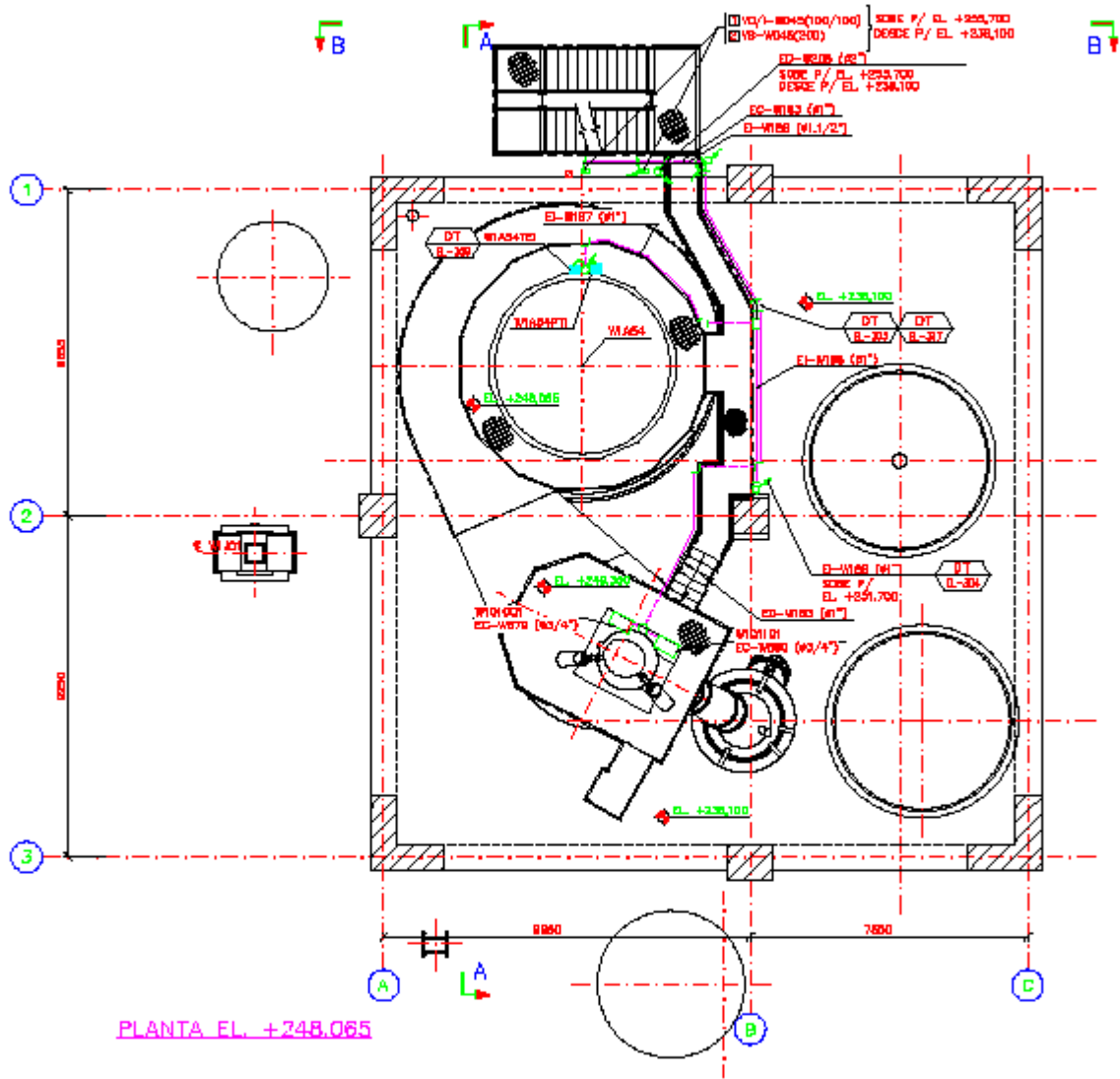


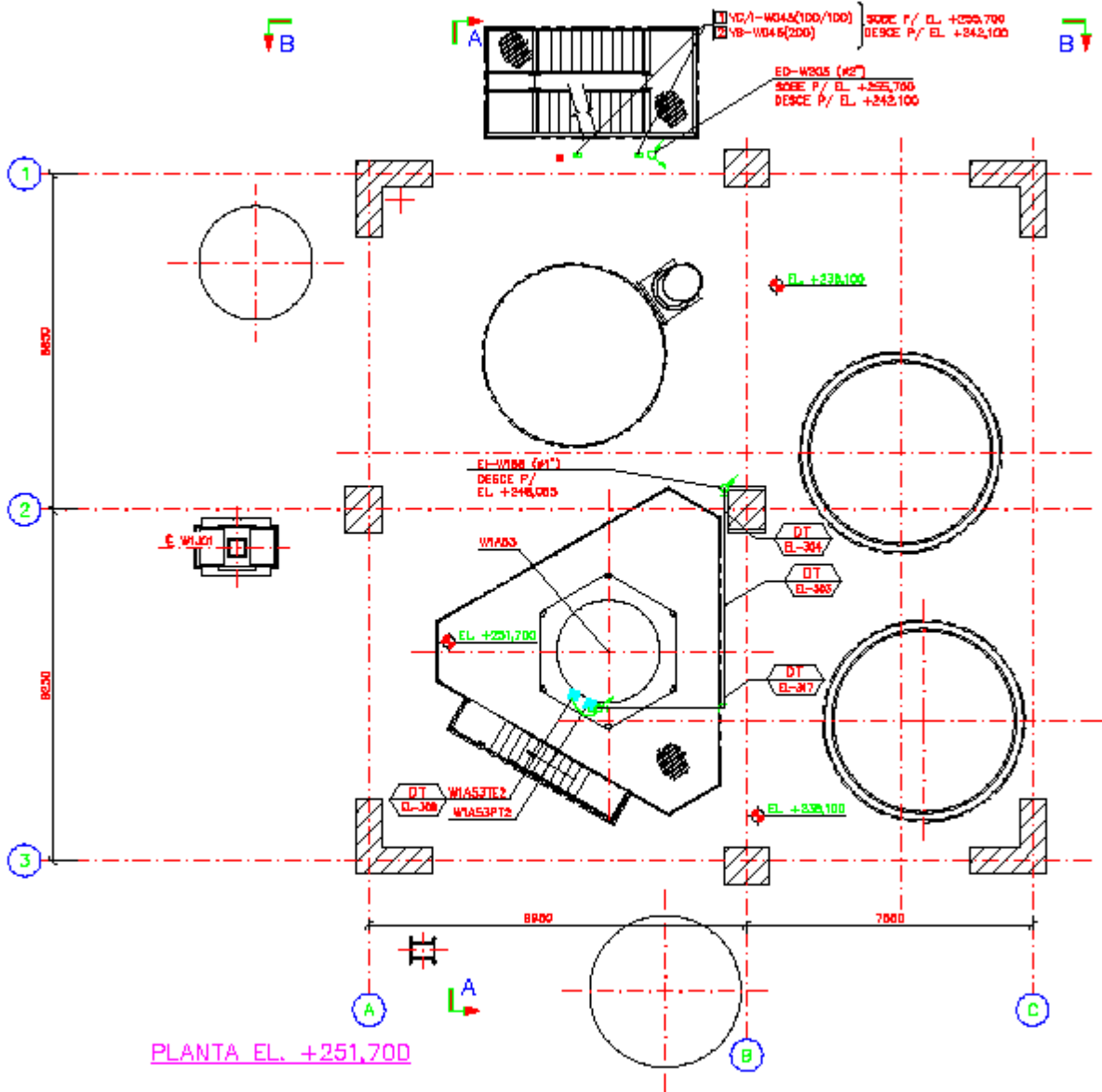


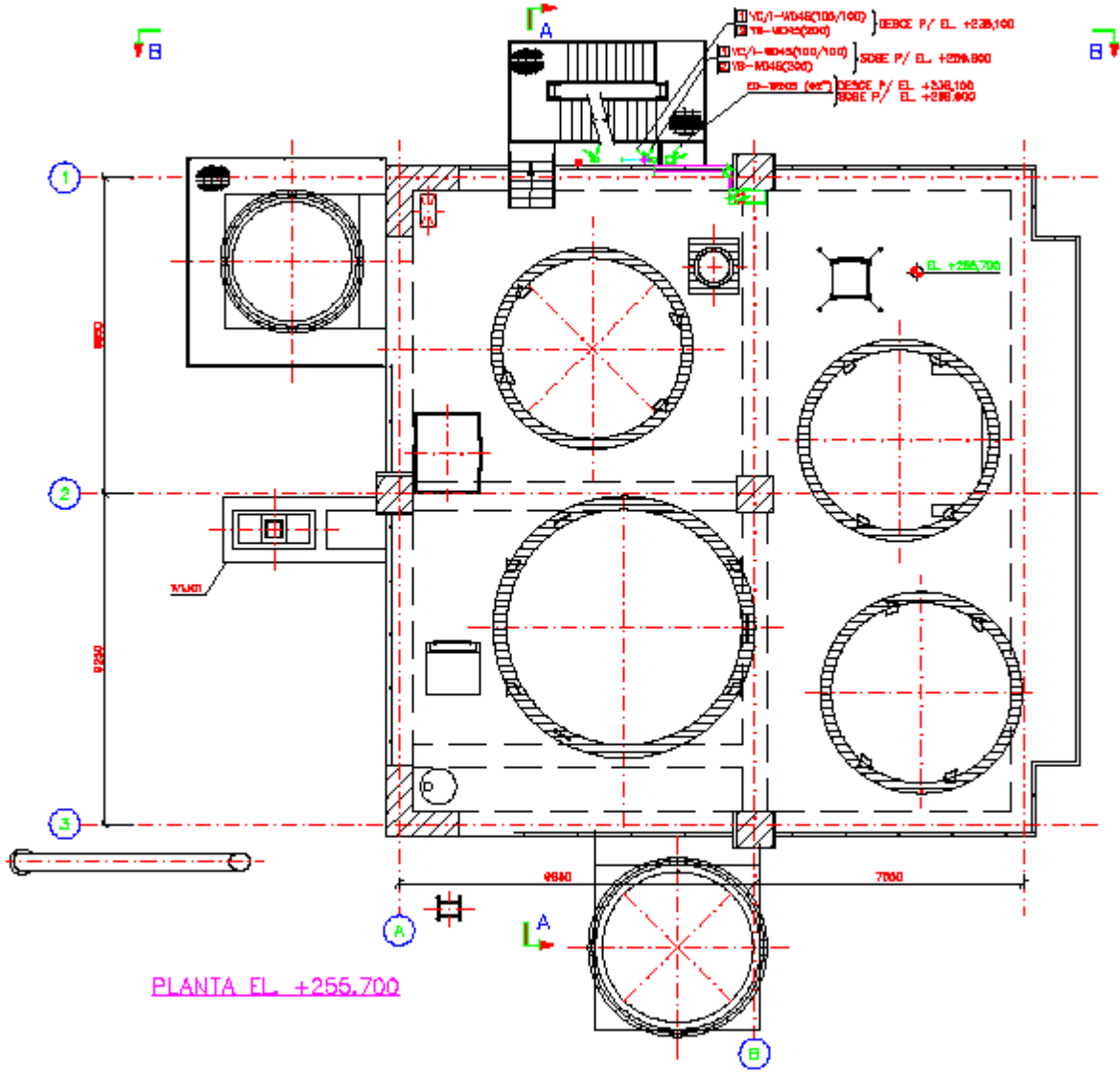


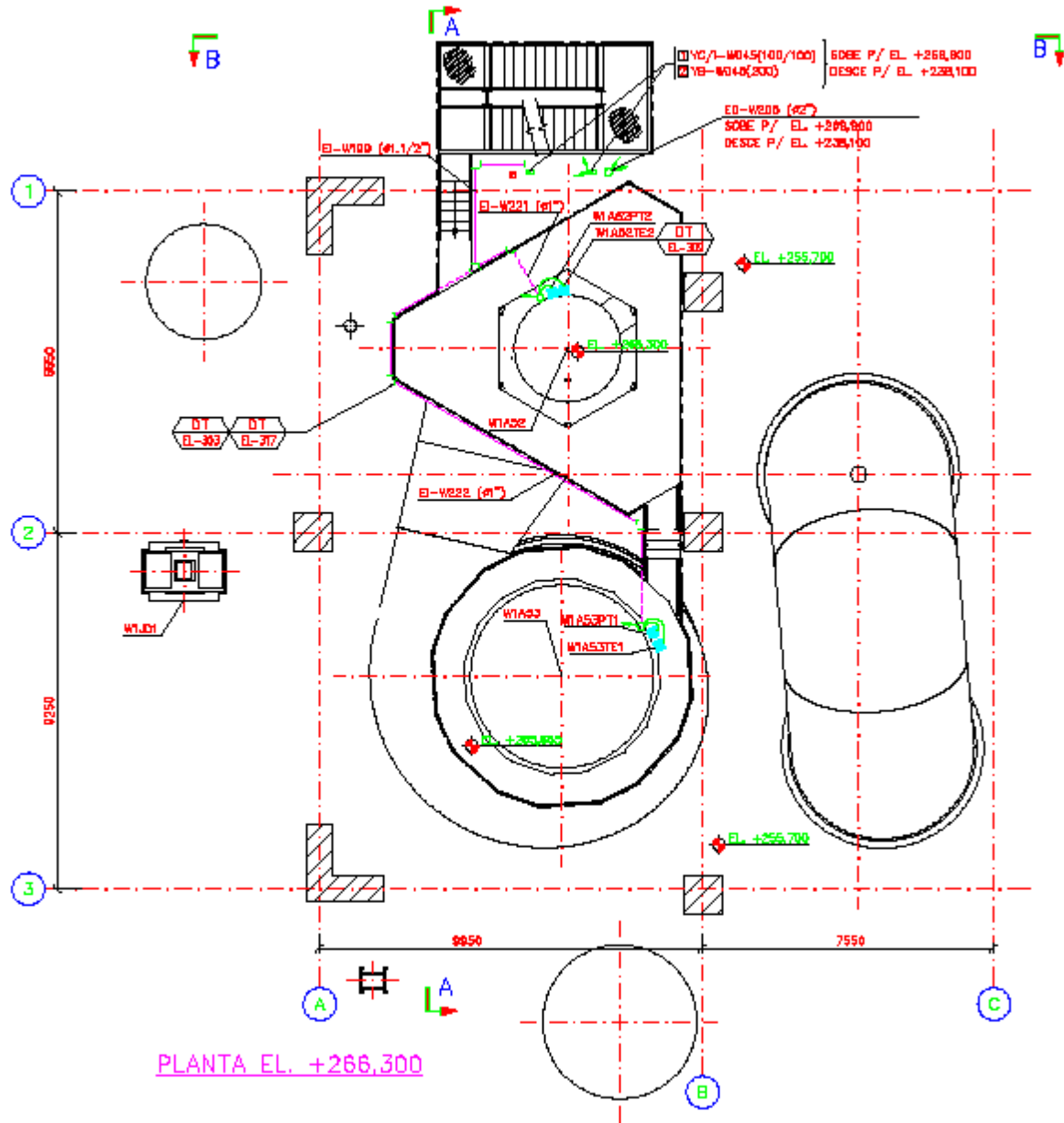


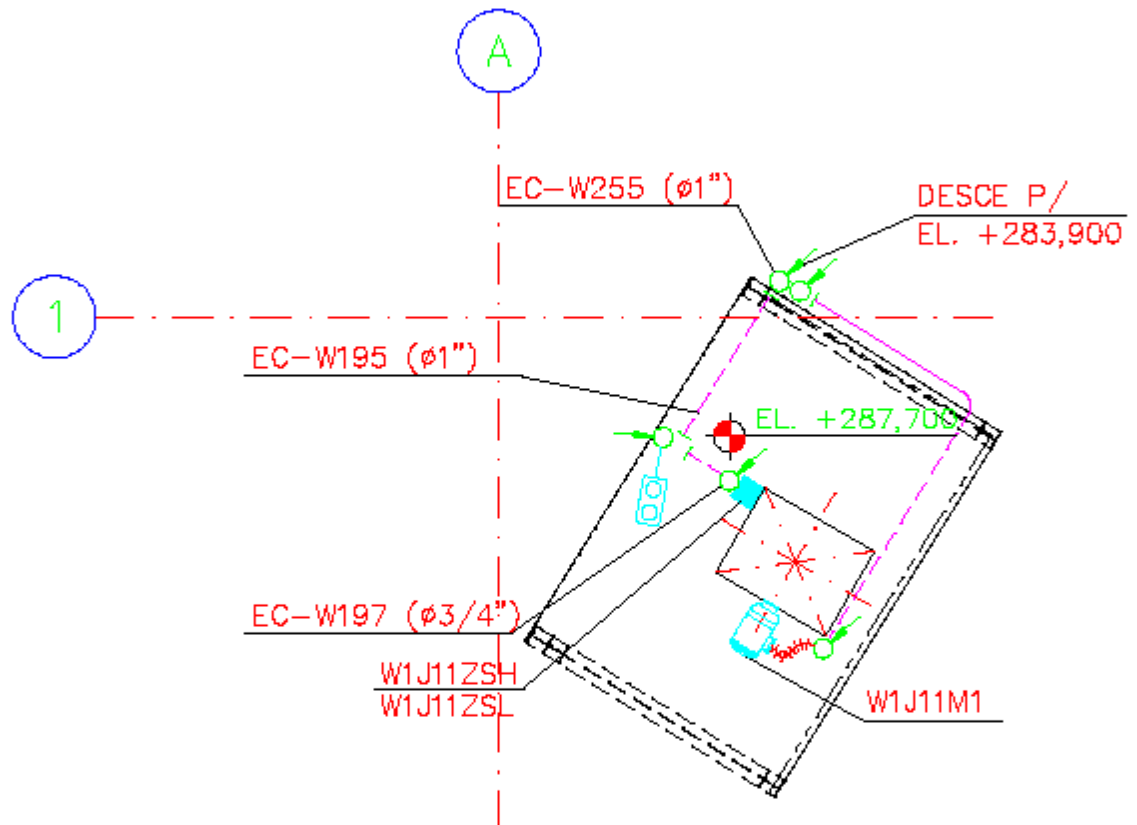
PLANTA EL. +231,700



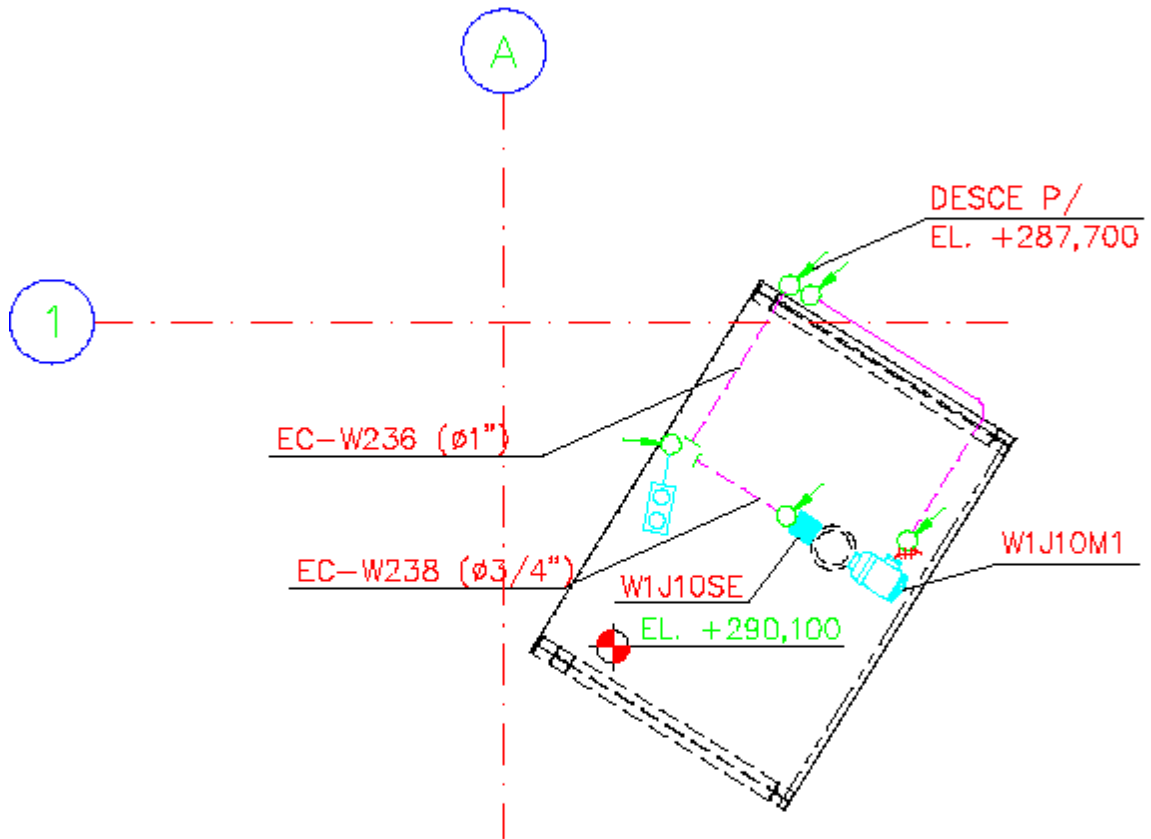






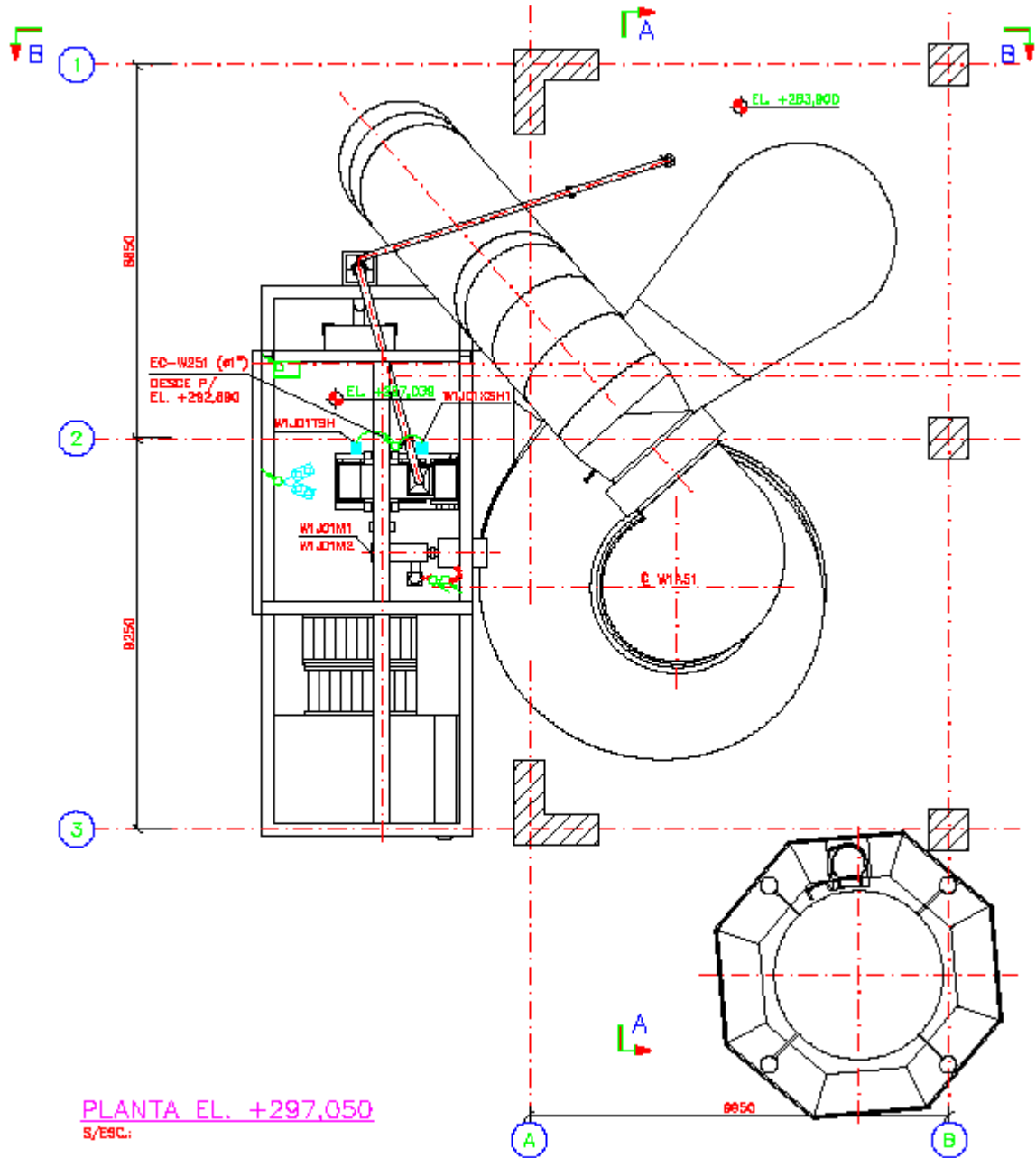


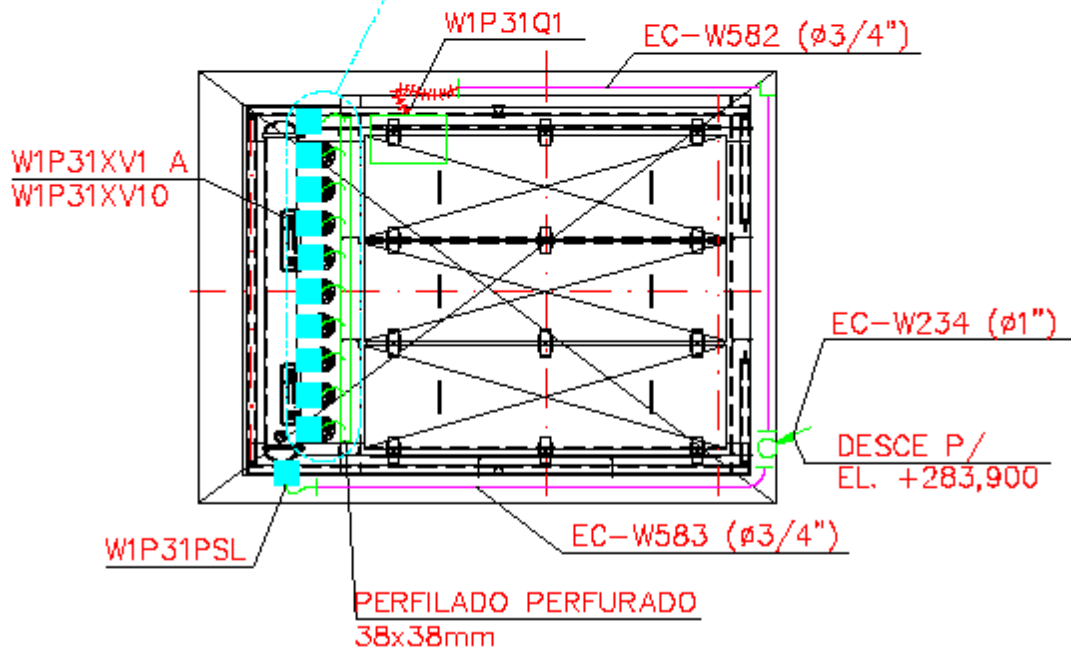
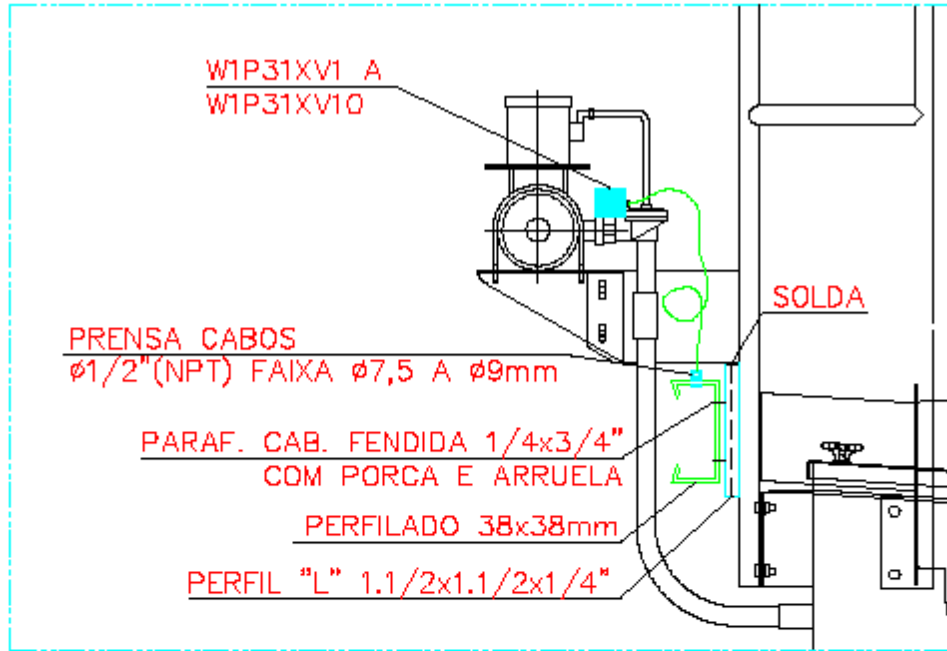
PLANTA EL. +287,700
S/ESC.:



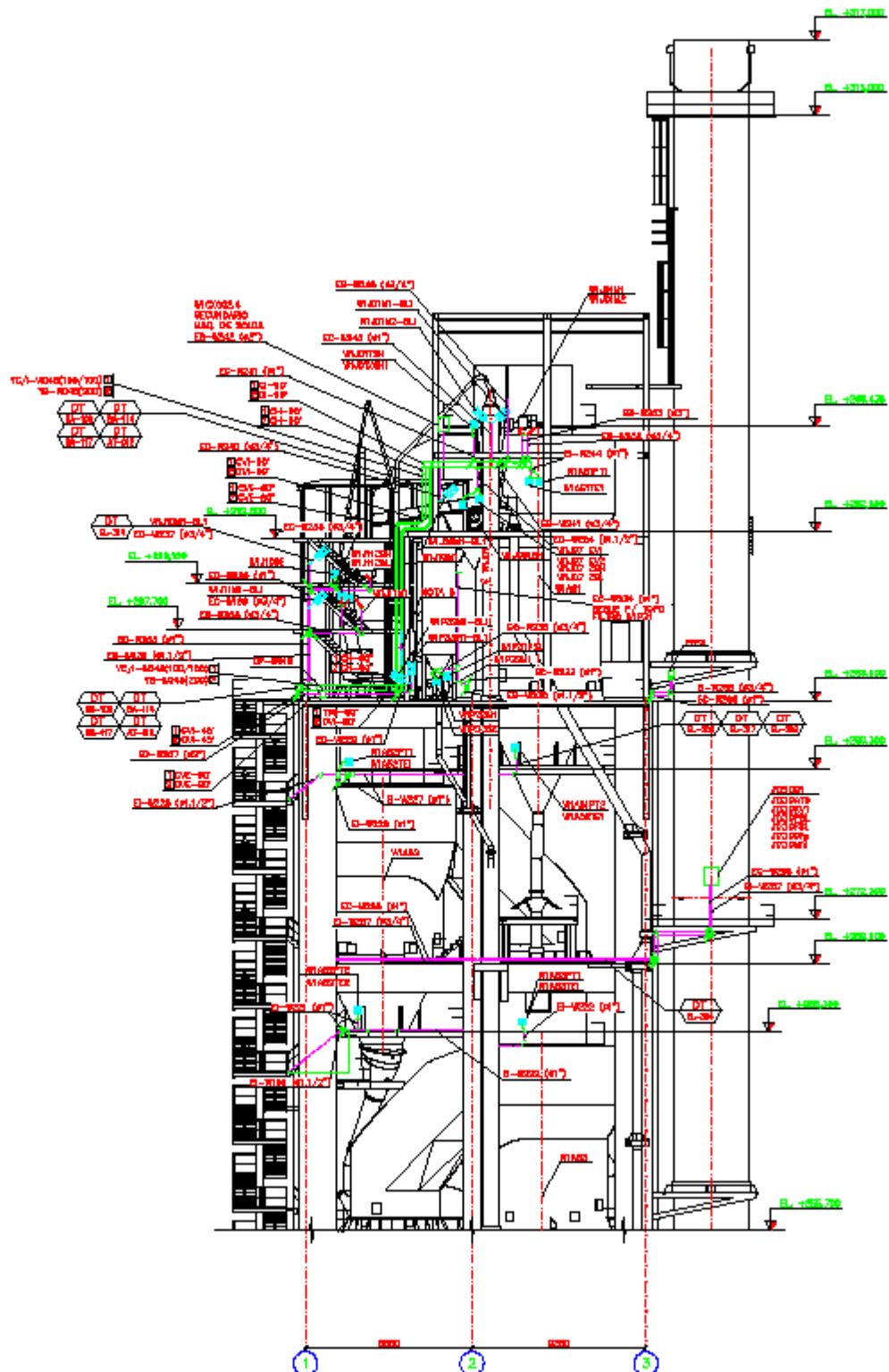
PLANTA EL. +290,100

S/ESC.:





PLANTA FILTRO W1P31
S/ESC.:



CORTE "A-A" - PARTE SUPERIOR

