

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM MONTAGEM INDUSTRIAL**

ANDERSON JOSÉ RANGEL DE OLIVEIRA

**COMISSIONAMENTO ANTECIPADO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO EM
UNIDADES DE REFINO UTILIZANDO GERENCIADOR DE ATIVOS**

Niterói, RJ

2017

ANDERSON JOSÉ RANGEL DE OLIVEIRA

**COMISSIONAMENTO ANTECIPADO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO EM
UNIDADES DE REFINO UTILIZANDO GERENCIADOR DE ATIVOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial.

Orientador: Prof. Marcio Zamboti Fortes, D. Sc.

NITERÓI,RJ
2017

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

O48 Oliveira, Anderson José Rangel de
Comissionamento antecipado de sistemas de automação em
unidades de refino utilizando gerenciador de ativos / Anderson José
Rangel de Oliveira. – Niterói, RJ : [s.n.], 2017.
88 f.

Dissertação (Mestrado em Montagem Industrial) - Universidade
Federal Fluminense, 2017.

Orientador: Marcio Zamboti Fortes.

1. Montagem industrial. 2. Comissionamento. 3. Refinaria de
petróleo. 4. Simulação por computador. I. Título

CDD 670.42

ANDERSON JOSÉ RANGEL DE OLIVEIRA

**COMISSIONAMENTO ANTECIPADO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO EM
UNIDADES DE REFINO UTILIZANDO GERENCIADOR DE ATIVOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em
Montagem Industrial da Universidade Federal
Fluminense, como requisito parcial para obtenção do
Grau de Mestre. Área de Concentração Montagem
Industrial.

Aprovada em 23 de março de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Zamboti Fortes Presidente
Orientador
Univeridade Federal Fluminense

Prof. Ph.D. Roger Matsumoto Moreira
Univeridade Federal Fluminense

Prof. Dr. Vítor Hugo Ferreira
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. José de Jesús Rivero Oliva
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Niterói, RJ
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de todas as coisas, pois sem ele nada sou e nada tenho e a minha família que é meu porto seguro, minha esposa Renata e minhas filhas Angeline e Rebeca.

Agradeço a todas as pessoas que durante o percurso deste Mestrado me ajudaram, me encorajaram a sempre seguir em diante e compartilharam comigo momentos inesquecíveis.

Agradeço o bem tratado que fui sempre por colegas, funcionários da administração, professores e, em especial, pelo meu orientador, que em todo momento me deu o apoio necessário para eu continuar cursando o Mestrado até o fim.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
SUMÁRIO.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. APRESENTAÇÃO	10
1.2. MOTIVAÇÃO	11
1.3. OBJETIVOS DESTE TRABALHO	16
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. ESTADO DA ARTE	18
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.2. COMISSONAMENTO, PRÉ-COMISSONAMENTO E CONDICIONAMENTO 25	
2.3. GERENCIADOR DE ATIVOS	28
2.4. TESTES DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO.....	30
3. METODOLOGIA DE TESTES DE MALHAS.....	32
3.1. METODOLOGIA TRADICIONAL DE TESTE DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO	32
3.2. METODOLOGIA DE TESTE UTILIZANDO O GERENCIADOR DE ATIVOS..	35
3.2.1. Tecnologia HART	38
3.2.2. Tecnologia Foundation Fieldbus (FF)	40
3.2.3. FDT/DTM	44
3.3. SOFTWARE ARENA	46
4. TESTES E SIMULAÇÕES.....	49
4.1. METODOLOGIA DE TESTE TRADICIONAL	49
4.1.1. Simulação com o <i>Software Arena</i>	52
4.1.2. Metodologia de Teste com Gerenciador de Ativos.....	54
4.1.3. Simulador de Testes Com Gerenciador de Ativos	58
5. CONCLUSÕES: COMPARATIVO ENTRE AS METODOLOGIAS DE TESTES DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO	60
5.1. PRODUTIVIDADE.....	60
5.2. PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	63
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
7. BIBLIOGRAFIA.....	66
APÊNDICE I.....	72
APÊNDICE II.....	74
APÊNDICE III.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Histórico de investimentos da Petrobras em 14 anos.	10
Figura 2 - Curva “S” de um projeto.	13
Figura 3 – Processo de Construção, Montagem e Comissionamento de Obras Industriais.	14
Figura 4 - Caminho típico de implementação para partida.	20
Figura 5 – Definição de fases e marcos.	26
Figura 6 - Método Tradicional de testes de malhas.	33
Figura 7 - Método de testes de malhas com gerenciador de ativos	36
Figura 8 - Sistema com protocolo HART e rede 4 a 20 Ma.	39
Figura 9 - Frequência típica do protocolo HART	39
Figura 10 - Rede <i>Foundation Fieldbus</i>	41
Figura 11 - Migração das funções de controle para os instrumentos	42
Figura 12 - Integração de Redes <i>Foundation Fieldbus</i>	43
Figura 13 - Integração da EDDL em um sistema <i>Fieldbus</i>	45
Figura 14 – Tela inicial do <i>software</i> ARENA.	46
Figura 15 – Modelo simplificado de um processo no Arena.	47
Figura 16 – Janela de configuração do módulo <i>Create</i>	47
Figura 17 – Janela de configuração do módulo <i>Process</i>	48
Figura 18 – Modelo de Simulação da UGH.	52
Figura 19 – Modelo de simulação da nafta de coque.	54
Figura 20 – Modelo de Simulação da ETDI.	58
Figura 21 – Modelo de Simulação da HDT de Diesel.	59
Figura 22 – Produtividade de Teste de Malhas	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de malhas da Unidade de Geração de Hidrogênio	50
Tabela 2 – Número de malhas da Unidade de Hidrotratamento de Nafta de Coque	51
Tabela 3 – Número de malhas da Estação de Tratamento de Dejetos Industriais....	55
Tabela 4 – Número de malhas da Unidade de Hidrotratamento de Diesel.	57
Tabela 5 – Resultados dos testes de malhas utilizando o método tradicional.	611
Tabela 6 – Resultados dos testes de malhas utilizando o método de gerenciador de ativos.....	611
Tabela 7 – Produtividade de teste de malha em plantas industriais.....	62

RESUMO

Este trabalho objetiva propor uma modificação na metodologia de testes de malhas de instrumentação em plantas de petróleo da indústria nacional de refino de maneira que se antecipe o comissionamento dos sistemas instrumentados e de controle destas plantas e reduza os riscos de atrasos nas partidas. São apresentados alguns dados dos testes realizados com a metodologia de teste de malha de instrumentação tradicional e com a metodologia proposta, a qual utiliza a ferramenta de gerenciador de ativos já disponibilizada no sistema de controle. As metodologias são comparadas com o objetivo de verificar a viabilidade da metodologia proposta e suas vantagens em relação à metodologia de teste tradicional. Para isso foi feita uma comparação com um sistema simulado no software Arena e verificado que o método proposto proporciona uma melhor produtividade dos testes de malhas utilizando o sistema *Foundation Fieldbus*, bem como uma redução de custo do pessoal envolvido nos testes.

Palavras-chave: Testes de malhas de instrumentação, comissionamento, gerenciador de ativos, SDCD, plantas de petróleo.

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a modification in the methodology of instrumentation loop testing in petroleum plants of the national refining industry in order to anticipate the commissioning of the instrumented and control systems of these plants and reduce the risks of delays in the start-up. Some data from the tests performed with the traditional instrumentation loop testing methodology and the proposed methodology are presented, which uses the asset manager tool already available in the control system. The methodologies are compared in order to verify the feasibility of the proposed methodology and its advantages over the traditional test methodology. For this, a comparison was made with a simulated system in the Arena software and verified that the proposed method provides better productivity of the looping tests using the Foundation Fieldbus system, as well as a reduction of personnel costs involved in the tests.

Keywords: Instrumentation loop tests, commissioning, asset manager, DCS, oil plants.

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Na última década houve um aumento significativo do parque industrial brasileiro na área do petróleo e petroquímica, conforme é observado na Figura 1 a grande quantidade de investimentos em 14 anos. Foram realizados investimentos em novas unidades de refino, plataformas de exploração e produção de petróleo e todas as conexões (oleodutos, gasodutos) necessárias para transporte desses produtos. Os investimentos eram em média 10 bilhões de dólares entre 2001 e 2005 e passaram a ser em média 40 bilhões de dólares entre 2007 e 2014, representando um aumento em torno de 400% neste último período.

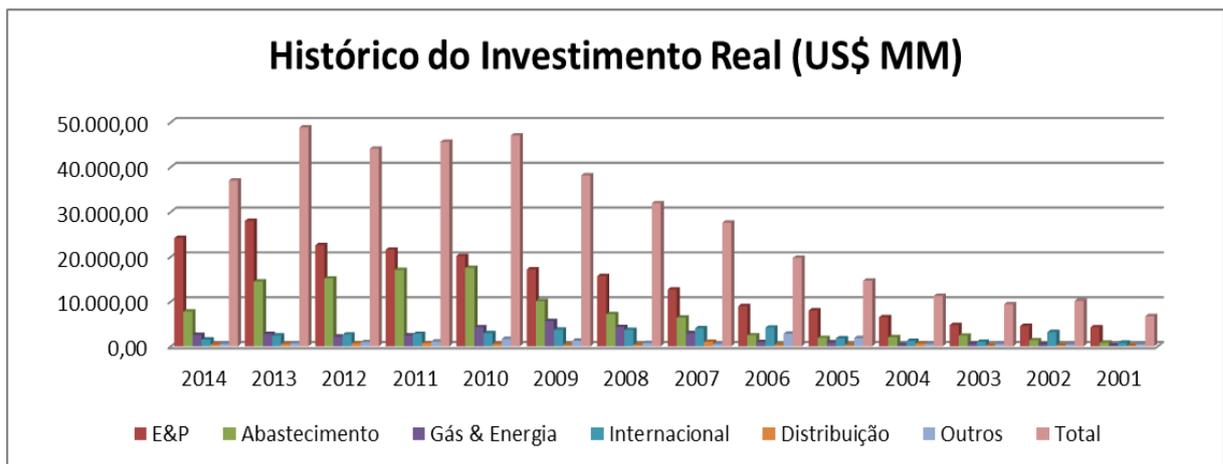


Figura 1 – Histórico de investimentos da Petrobras em 14 anos.

Fonte: (Disponível em: www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/investimentos)

O grande desafio para os investimentos foi e ainda é a necessidade de cumprimento do prazo e custo planejados em cada obra, somado ao grande objetivo de iniciar a operação e produção desses ativos com qualidade e segurança operacional e assim dar início ao ciclo de retorno do investimento.

Essas unidades de produção e refino de petróleo possuem uma grande quantidade de equipamentos complexos que, em sua maioria, são importados e

fabricados especificamente para essas unidades. Com isso, é necessário mitigar todos os riscos de falha desses equipamentos no início da operação e partida das unidades. Uma falha no início da partida da planta pode acarretar em atraso na produção, perda da janela de investimento, multas em relação à falta de fornecimento do produto para os clientes, multas em relação a acordos de ajustes de condutas com órgãos ambientais e perda de lucro cessante devido ao período em atraso.

Segundo Milheiro (2012) o desafio do comissionamento é assegurar a transferência das unidades industriais do construtor para o cliente de maneira organizada, segura, com garantia do desempenho da mesma, com a devida confiabilidade e com todas as informações necessárias do ativo. Portanto, a responsabilidade do construtor é grande, mas sempre estão presentes os fiscais e gestores do projeto do contratante que asseguram que as etapas de montagem e testes estão acontecendo de acordo com normas e procedimentos internacionais ou de aplicação específica da empresa ou setor em que o empreendimento está sendo realizado.

Conforme apresentado por Prates (2006) quando se executa uma construção de maneira planejada, estruturada e eficaz, o comissionamento tende a ser um elemento essencial para o atendimento do prazo, custo, segurança e qualidade do empreendimento.

1.2. MOTIVAÇÃO

A dissertação utiliza como exemplo as unidades de processamento de petróleo nas refinarias brasileiras, principalmente as unidades construídas na última década e que tiveram forte apelo ambiental, ou seja, essas unidades foram construídas com o objetivo de diminuir as emissões atmosféricas ou reduzir teor de enxofre nos derivados como, por exemplo, diesel e gasolina, ou realizar algum tipo de tratamento para melhorar as condições de qualidade dos produtos por elas processados. A qualidade dos produtos significa produzir diesel e gasolina com menor teor de enxofre conforme resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio

Ambiente) nº 415, de 24 de setembro de 2009, e da Resolução 40/2013 da ANP (Agência Nacional do Petróleo), diminuir as emissões atmosféricas de dióxido de enxofre (SO_x) e dióxido de nitrogênio (NO_x) da produção de petróleo e também reutilizar a água do processo de produção de derivados de petróleo tratando a água contaminada e oleosa.

As metas mais almejadas de um empreendimento são o cumprimento dos prazos e os custos planejados. Todo gerente de projeto trabalha para que os recursos disponibilizados pelo financiador sejam muito bem aplicados dentro do prazo inicialmente planejado, contudo existem diversos riscos que podem impedir o sucesso de cumprimento do prazo e custo do projeto. Entre esses riscos estão a quebra de equipamentos críticos, a falta de desempenho de um ou mais sistemas operacionais da unidade, problemas de montagem que serão identificados somente nos testes de equipamentos e sistemas, entre outros.

O planejamento destes empreendimentos é muito bem cuidado e acompanhado de perto de maneira que os prazos e custos sejam cumpridos, utilizando ferramentas de controle e diagnóstico, mas na maioria das vezes, não é dada a devida importância para o planejamento e controle necessário. Entende-se por planejamento e controle a maneira de conduzir a obra; por exemplo, qual sequência a planta industrial deve ser montada e comissionada, qual a produtividade de montagem de instrumentos e tubulações.

Uma maneira de acompanhamento do projeto para verificar o que foi planejado e o que foi executado é através da curva “S”, conforme representado na Figura 2. A curva “S” representa o progresso do projeto ao longo do tempo; ela é sempre crescente, pois os seus valores são acumulados; é um padrão para simular uma formatação ideal na falta de valores reais e elas podem ser utilizadas para acompanhar o trabalho (HH) ou o custo, podendo até existir várias curvas para um mesmo prazo de projeto. Segundo Bendixsen e Young (2015), a curva “S” serve para:

- Confirmar se o projeto está sendo conduzido de forma capaz de atingir as metas estabelecidas;
- Checar se as atividades estão sendo trabalhadas corretamente.

Vale destacar que a curva “S” pode ser aplicada a diferentes processos e sistemas como: previsão de custo em projetos de construção (CHAO e CHEN, 2015), fluxo de caixa em projetos (KAKA e PRICE, 1993) e acidentes rodoviários (LI et al, 2015).

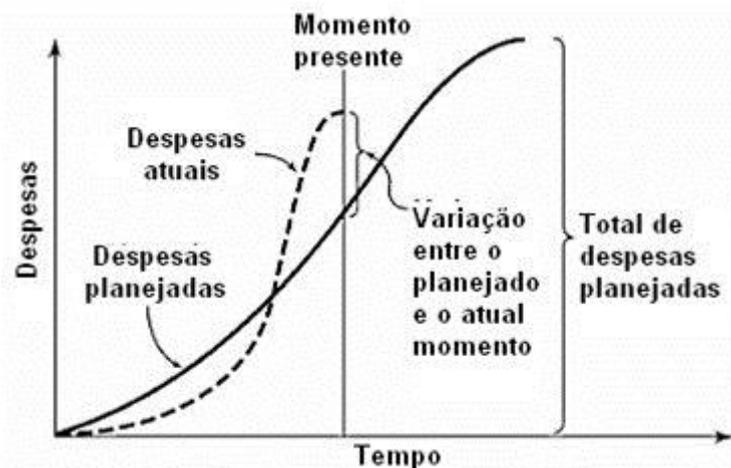


Figura 2 - Curva “S” de um projeto.

Fonte: Frame (2003).

De igual modo, na etapa de construção e montagem de um projeto existem ferramentas de acompanhamento e controle, que podem ser ferramentas computacionais, de forma a garantir que o que foi projetado será construído dentro das normas e qualidades previstas para o projeto, tais como o estudo de HAZOP (Hazard and Operability Study), apresentado conceitualmente em Janosovsky et al. (2017) análise de Construtibilidade (exemplo com modelo de análise multi-criterio apresentado em Yu e Skibniewski(1999) e análise de risco de projeto como destacado em (Muriaria e Vizzini, 2017)

Dentro de todas as etapas do projeto existem ferramentas que nos ajudam a eliminar ou minimizar os riscos de insucesso que rondam o projeto, como por

exemplo, análise de risco de fornecimento de materiais e equipamentos, planejamento e controle de prazos de contratação e ferramenta integrada de comissionamento.

Na literatura destaca se sobre este tema a pesquisa de Mechhoud et al. (2016) que implementa uma ferramenta automatizada com HAZOP e FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) para avaliação de riscos em uma planta petroquímica. Esta ferramenta automatizada identifica desvios de parâmetros operacionais em qualquer ponto da planta e identifica possíveis causas, consequências e ações preventivas que possam ser tomadas.

A etapa de comissionamento de uma unidade de refino de petróleo não é diferente, também possui suas ferramentas de controle e acompanhamento de desempenho e sucesso para o projeto. O comissionamento, conforme Figura 3 é uma das fases de uma obra industrial e não se restringe somente as suas atividades pré-determinadas de recebimento, preservação, testes, condicionamento, partida, pré-operação e operação assistida da unidade. Ele deve ser responsável também por realizar oportunidades de antecipação de entregas e suas mitigações de riscos.



Figura 3 – Processo de Construção, Montagem e Comissionamento de Obras Industriais.

Fonte: Autor

Realizar uma análise de risco com qualidade tem como resultado identificar problemas que impedem o sucesso do empreendimento, seja identificando os impactos em custo do projeto ou no prazo final de entrega. Com isso é necessário

ter os riscos bem mapeados por uma experiente equipe de projeto, controlados e acompanhados periodicamente.

Considerando que, por exemplo, a quebra de uma máquina rotativa de uma unidade de processo de refino de petróleo é um risco com alta probabilidade de acontecer e de alto impacto caso ocorra, é necessário mitigar esse risco com ações que garantam o funcionamento destas na partida da unidade.

Esse problema pode ser mitigado com a antecipação de seu teste logo após sua montagem ou utilizando novas tecnologias para testes e comissionamento. Para que isso ocorra é necessário um planejamento prévio e detalhado desses eventos. O planejamento pode ser realizado logo que existirem os fluxogramas de processo. Podem-se considerar ligações provisórias, caso necessário, ou antecipar, dentro da rede de precedência de montagem, as ligações necessárias para os testes.

Essa dissertação apresenta proposta uma da antecipação do comissionamento de todos os sistemas de automação e instrumentação das plantas industriais de refino utilizando uma nova metodologia de testes de malhas de instrumentação. Os sistemas de automação e toda a instrumentação são essenciais para a operação de equipamentos e, conseqüentemente, dessas plantas de processo e sem os quais não há início de produção, acarretando assim prejuízos de lucro cessante. Naturalmente, esses sistemas junto com a instrumentação da planta são os últimos a serem comissionados e testados, devido à sequência de montagem da planta industrial. Normalmente são equipamentos que dependem de montagem das tubulações, dos equipamentos estáticos (vasos, permutadores, filtros e outros) e equipamentos dinâmicos para serem montados. Com isso, o comissionamento e testes desses equipamentos são caminho crítico para término de comissionamento das plantas.

É importante que haja uma análise de todo o circuito de teste para se considerar o comissionamento de todas as utilidades, equipamentos estáticos, instrumentos e sistemas de automação necessários para sua viabilização e antecipar assim problemas que porventura possam existir nos equipamentos a serem testados.

1.3. OBJETIVOS DESTE TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar o Comissionamento Antecipado de Sistemas de Automação em Plantas Industriais de Refino, onde é possível identificar problemas ou defeitos em equipamentos, montagem ou projeto diminuindo o prazo e o custo de uma intervenção às vésperas da partida de uma unidade de processo, utilizando uma nova metodologia proposta neste documento para os testes de malhas de instrumentos de campo utilizando uma ferramenta chamada gerenciador de ativos.

Não há como garantir que após a construção e montagem de uma unidade de processo teremos sucesso na partida da unidade e logo em seguida a mesma estará produzindo.

Para mitigar os riscos de falhas em equipamentos críticos na partida de uma planta, não basta somente atuar no processo de gestão e controle de construção, montagem. É necessário garantir através de testes e verificações que os equipamentos críticos e sistemas de determinada planta estarão prontos para partida.

Antecipar os testes de integridade de equipamentos e sistemas minimiza os riscos de uma partida frustrada. Com isso se ganha em prazo colocando a planta para operar no tempo determinado e mesmo com alguma falha descoberta, o tempo de correção pode não prejudicar a sua partida. Também se ganha em custo, pois ao iniciar a operação no prazo determinado inicia-se logo a produção.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Com a finalidade de apresentar a divisão deste trabalho e facilitar a compreensão dos objetivos, segue um resumo dos capítulos que serão apresentados:

- Capítulo 2: O estado da arte

Neste capítulo são apresentados conceitos e informações de artigos, teses e outras literaturas que abordam os principais temas que serão explorados no

presente trabalho. Os pontos destacados das literaturas pesquisadas serão apresentados nos seguintes temas: comissionamento, gerenciador de ativos e testes de malhas de instrumentação.

- Capítulo 3: Metodologia de testes de malhas

Este capítulo apresenta as metodologias de testes de malhas de instrumentação e suas principais características.

- Capítulo 4: Simulação

Neste capítulo são apresentados alguns dados de testes de malhas de instrumentação realizados em plantas de petróleo nas indústrias de refino nacional e seus resultados, bem como as respectivas simulações no software Arena.

- Capítulo 5: Conclusões

São realizadas algumas comparações entre as metodologias e apresentado dados de produtividades de testes de malhas de instrumentação em plantas de petróleo similares às plantas que foram apresentadas no Capítulo 4.

- Capítulo 6: Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se uma análise em equipamentos críticos para possíveis trabalhos futuros com o mesmo objetivo de antecipar o comissionamento de plantas de petróleo da indústria de refino nacional.

- Capítulo 7: Bibliografia.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema comissionamento e especificamente comissionamento antecipado não possui grande número de artigos acadêmicos apresentados na literatura, em especial, destacando aspectos de aplicação e resultados de implantação. Desta forma, neste texto será feito destaque a alguns autores apresentando um breve resumo de cada contribuição.

O termo comissionamento é apresentado por Gandra (2010) como uma ferramenta do controle de qualidade e traça um paralelo com a definição do PMI – *Project Management Institute*. O autor considera o comissionamento como uma fase entre a construção e montagem e a operação e que nesta fase são definidas objetivamente as atividades para alcançar os itens entregáveis do projeto.

Furlow (2014) trata do comissionamento de um sistema de produção flutuante como uma conexão entre a construção e a operação. O autor considera que, embora o comissionamento faça essa interligação, os profissionais de comissionamento devem estar envolvidos no projeto logo no início. O autor separa o comissionamento em três fases: Planejamento, execução *onshore* e execução *offshore*.

No trabalho de Brito et. al (2016), os autores destacam que os projetos industriais estão crescendo e ficando mais complexos, produzindo novos desafios para sua conclusão popularmente conhecido como “completação”. Como tal, o gerenciamento do projeto e a percepção do sucesso do projeto devem ser alinhados com um novo paradigma que a conclusão da planta não é suficiente. Os autores contextualizam que este novo paradigma requer novos processos e comportamentos relacionados não apenas com as melhores práticas de engenharia, mas também com novas abordagens gerenciais. Comentam no texto que o encerramento do projeto/construção é essencial ao longo do ciclo de vida quando a instalação transita da conclusão da planta para o *start up*, seguida pelo início e operação em condições nominais.

Brito et. al (2016), afirma-se que para entregar o que foi previamente planejado, três etapas devem ser seguidas: definição do escopo; alinhamento da estratégia de negócios e operacionalidade do ativo entregue. Tradicionalmente, o comissionamento tem sido considerado uma atividade que é executada pouco antes das equipes de operações assumirem e a partida dos equipamentos acontecer. Cada vez mais, tornou-se um processo abrangente e sistemático para verificar e documentar os novos sistemas ou até um sistema reconicionado funcionando para satisfazer as necessidades do proprietário da planta. O comissionamento minuciosamente planejado e executado tornou-se crítico para permitir que a instalação funcione como planejado. Nesta pesquisa (BRITO *et al*, 2016) é demonstrado que o foco na operabilidade e o comissionamento de instalações novas ou reformadas representam oportunidades para os proprietários e operadores eliminarem e mitigarem a exposição a numerosos riscos. Dessa forma pode se aumentar as chances de sucesso para o ciclo de vida da instalação e a probabilidade de atender as necessidades e exigências operacionais (novas ou reprojctadas).

Em Bahadori (2014) aborda-se o sequenciamento de partida e os procedimentos mínimos para comissionamento de unidades de processo. O autor lista uma série de atividades e as divide em fases conforme Figura 4.

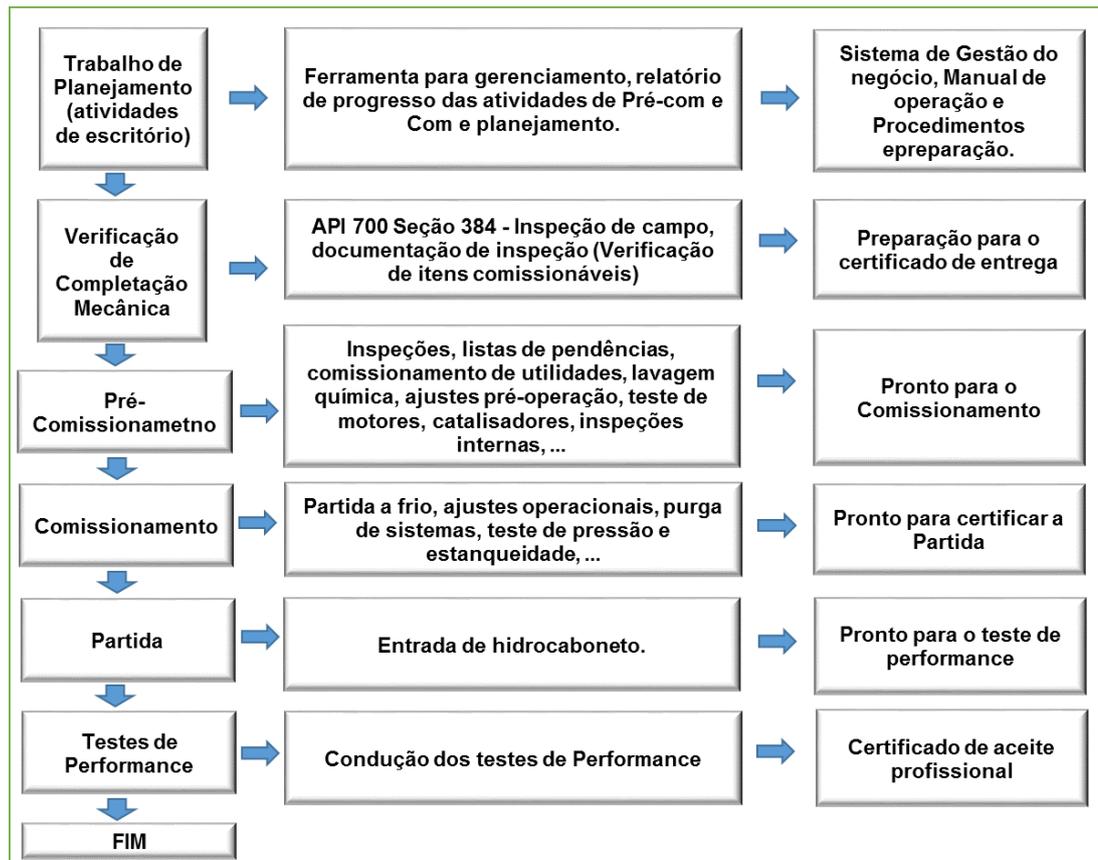


Figura 4 - Caminho típico de implementação para partida.

Fonte: Adaptada de Bahadori (2014).

Bahadori (2014) considera que o pré-comissionamento é uma fase sequencial ao marco de completção mecânica, ou seja, as atividades de testes e certificações de equipamentos devem ser executadas após a finalização da construção e montagem. Na pesquisa é descrito em detalhes as atividades e sequenciamento de cada uma delas, como por exemplo: inspeções, limpezas de sistemas e equipamentos, teste hidrostático, etc. A fase de comissionamento está relacionada à introdução de hidrocarbonetos na unidade, ou seja, está pronta para receber a carga e iniciar o processo de produção. Quando a unidade estiver estabilizada e começar a produzir considera-se que houve a partida da unidade.

Killcross (2011) define o comissionamento em três categorias: pré-comissionamento, comissionamento e início de operação (*start-up*). O comissionamento é dividido em dois termos: comissionamento a seco e comissionamento molhado.

Segundo este autor o pré-comissionamento é fase que prepara uma planta de gás natural ou unidade de processo de hidrocarbonetos para iniciar o comissionamento. As atividades relacionadas nesta fase são: instalação de elementos filtrantes, internos de vasos e torres, limpeza de tubulações e equipamentos, acompanhamento de testes de fábrica em equipamentos, levantamento de listas de pendências, testes de malhas de instrumentos e equipamentos elétricos.

Na fase do comissionamento a seco são realizados testes de estanqueidade, testes de intertravamento dos sistemas, início de operação dos principais motores. Quando se introduzir o fluido seguro na planta, por exemplo, água, gás inerte, entre outros, se dá início ao comissionamento molhado. O início de operação é considerado quando a unidade está estabilizada e com a carga introduzida ao processo.

Em Verri (2010) o comissionamento antecipado é tratado como resultado de uma montagem de boa qualidade, ou seja, a equipe especializada em comissionamento deve acompanhar a montagem em suas diversas fase e assim detectar problemas antes da entrada em operação. O autor foca a sua abordagem em equipamentos elétricos, tais como: cabos de 15 kV, transformadores, Centro de Controle de Motores (CCM), motores e dutos de barras. Neste artigo são apresentados alguns problemas que são usualmente encontrados na montagem e comissionamento destes equipamentos, como por exemplo, cabos danificados, válvulas mal especificadas, base de bombas desniveladas, etc.

Pode-se considerar que a abordagem do comissionamento antecipado feito por Verri (2010) é uma maneira de gerenciar a montagem e o comissionamento, onde não é possível identificar alguma metodologia ou procedimento diferente daquilo que já se aplica, hoje em dia, nos projetos de construção, montagem e comissionamento de plantas industriais.

Costa *et al.* (2014) afirmam que o processo de comissionamento em sistemas de automação industrial está passando por uma transformação para superar lacunas entre a montagem e a entrega de equipamentos para operação. Os autores destacam que a instrumentação sem fio está cada vez mais ganhando

terreno no desenvolvimento de protocolos de comunicação e, por isso, merece técnicas de comissionamento adequadas. A robustez destes protocolos está estreitamente relacionada com o comissionamento, que deve fornecer procedimentos e técnicas para permitir a operação adequada para que a instrumentação do processo seja segura e confiável. A pesquisa sugere um procedimento específico para o comissionamento de redes de instrumentação sem fio.

Sobre o tema gerenciamento de ativos destacam-se os trabalhos de Carrijo (2011) que aborda em sua dissertação de mestrado o gerenciamento de ativos aplicado a instrumentos de campos de protocolos abertos com uma abordagem a partir de dispositivos móveis. Ele apresenta a evolução tecnológica na indústria e os principais protocolos de comunicação abertos difundido nas indústrias, o protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*), PROFIBUS (*Process Field Bus*) e *Foundation Fieldbus*.

Carrijo (2011) informa sobre a tecnologia nos instrumentos de campo e a capacidade de processamento de dados que habilita aos mesmos serem aplicados em redes inteligentes. É mostrado neste trabalho que o gerenciamento de ativos contempla diversas atividades como: calibrações, ajustes e manutenções de instrumentos. Além de abordagem da evolução das redes inteligentes o autor propõe verificar a viabilidade de utilização de dispositivos móveis para interligação ao gerenciamento de ativos de uma planta industrial através de uma arquitetura de integração.

Uma referência importante para conhecer projeto e implantação de sistemas de automação em plantas industriais, onde se apresentam as principais características de aplicação e testes básicos das tecnologias de sistemas de controles distribuídos (DCS), detecção de gás e incêndio (FGS), sistemas supervisórios de controle e aquisição (SCADA), controladores automáticos programáveis (PAC), sistemas de segurança, rede HART, rede PROFIBUS, rede Foundation FieldBus (FF), rede Wireless, rede OPC e outros é o documento Mehta and Reddy (2015) (A).

No artigo Gestão de Ativos aplicado em plataforma de Petróleo os autores Lima, *et al* (2009) mostram a viabilidade de integrar gerenciador de ativos em redes de campo sem grandes alterações nas topologias de redes e arquiteturas de automações existentes nas plataformas da Bacia de Campos.

Lima, *et al* (2009) apresenta um histórico dos protocolos HART e PROFIBUS, bem como suas definições e funcionamento sobre o *software* de gerenciamento de ativos proprietário dos fabricantes de SDCD. Eles também mostram o funcionamento da arquitetura de automação nas plataformas de petróleo e por fim apresentam um estudo de caso onde foi integrado o gerenciador de ativos numa plataforma específica, aproveitando a arquitetura existente. Convém observar que o destaque está no gerenciamento de ativos e não no comissionamento.

Em Rangel e Júnior (2011) é apresentado um modelo de simulação integrado ao sistema de controle de uma planta industrial que armazena ácido clorídrico (HCl). O autor considera que a fase de comissionamento do sistema de controle da planta pode ser antecipada, pois normalmente essa atividade é a última etapa a ser executada e por isso é considerada o caminho crítico de implantação do projeto.

Rangel e Júnior (2011) considera que a integração do sistema de controle com os ambientes de simulação permite ter uma visão global de um processo industrial, bem como a execução dos testes de lógica de uma maneira mais eficiente e flexível e também facilita o treinamento de operadores.

É apresentado o comissionamento *off-line* onde o autor propõe o teste do sistema através de um simulador sem nenhuma conexão física com os instrumentos de campo, mas com o sistema de controle que irá funcionar na planta.

Dentre os trabalhos pesquisados destaca-se um que versa sobre teste de malhas e trata de instalação e comissionamento de instrumentos. Este é a norma internacional IEC 62382 (2012) que apresenta especificamente como deve ser executado o teste de malhas. Também Killcross (2012) apresenta a documentação de uma maneira mais geral e um procedimento de teste de malhas de instrumentação.

Danielsson (2010) apresenta à importância do sistema de controle e instrumentação que atualmente tem um papel fundamental na operação segura e eficiente de uma planta industrial. Também são apresentadas com detalhes todas as fases de montagem de um sistema instrumentado, desde a locação dos instrumentos até os testes de malhas.

Danielsson (2010) detalha como deve ser a montagem dos instrumentos, como a locação destes em locais acessíveis e o mais próximo possível do local do processo onde ele deva controlar, principalmente para facilitar a montagem das linhas de impulso e ligações com os sensores. O procedimento das ligações elétricas mais comuns é abordado, como por exemplo, a ligação de alimentação, de sinal e de aterramentos dos instrumentos. O autor enfatiza que ao se implementar uma nova instalação, antes da partida, todos os instrumentos devem ser testados e os testes devem ser divididos em três fases: testes de pré-instalação, teste de cabos e tubos e teste de malhas, este último ele denomina de pré-comissionamento.

Os testes de pré-instalação envolvem a calibração dos instrumentos, que normalmente se verifica as faixas de 0%, 25%, 50% e 100%, a estanqueidade para se avaliar vazamentos e, nos casos das válvulas de controle, os testes de abertura. Danielsson (2010) orienta a sopragem do tubo de ar de instrumento, para a retirada de umidade e avaliar a estanqueidade das linhas de impulso e para os cabos orienta realizar os testes de continuidade e endereçamento. Para os testes de malhas o autor recomenda realizar uma inspeção em toda a montagem dos instrumentos antes de se iniciar os testes, considerando os painéis de rearranjo, painéis de controle e os consoles de operação. O autor apresenta os recursos a serem utilizados nos testes e considera duas pessoas de operação e uma ferramenta para comunicação, como por exemplo, rádios comunicadores. Apresenta a forma de executar o teste, em que é injetado sinal nos instrumentos de campo nos percentuais de 0%, 50% e 100% e é verificado se toda a malha está respondendo adequadamente. Por fim, todo o resultado deve ser registrado na folha de registro de teste de malhas.

A norma IEC 62382 (2012) é um documento que serve de base para os procedimentos internos de testes de malhas, pois detalha como devem ser executados os mesmos. Esta norma define três fases para a execução dos testes de

malhas: verificação da documentação, inspeção visual em toda a malha, equipamentos e ligações e teste funcional. Os testes de malhas estão incluídos na fase dos testes funcionais. Além destes existem três tipos de falhas possíveis a serem verificadas: falhas de montagem, falhas de configuração e falhas de projeto.

Esta norma propõe uma lista de verificação para as fases de execução, bem como as folhas de registro com os itens de verificação a serem preenchidos.

Em Kilcross (2012), são citados os procedimentos de teste de malhas e toda a documentação necessária para execução, como, por exemplo, o diagrama de malhas, folha de dados de instrumentos e folha de registro de testes. O livro não possui detalhes de execução dos testes de malhas, mas aborda de forma mais genérica como deve ser feito e quais equipes de comissionamento devem estar envolvidas, por exemplo, os engenheiros de controle, elétrica e instrumentação.

2.2. COMISSIONAMENTO, PRÉ-COMISSIONAMENTO E CONDICIONAMENTO

Existem vários entendimentos e definições a respeito do que seja o comissionamento, condicionamento e pré-comissionamento de um sistema operacional de uma planta ou unidade industrial e em que fase do projeto deve ser considerada.

Gandra (2010) considera que a falta de objetividade na definição do termo comissionamento e seu entendimento como uma fase do ciclo de projeto podem gerar imprecisões e conflito contratuais entre as partes envolvidas em projetos industriais.

Muitas das vezes o comissionamento é tratado como uma parte integrante do controle de qualidade, onde o objetivo principal é realizar os testes e verificações finais antes do início da operação de uma planta industrial. Nesta etapa são utilizados os procedimentos de testes, manuais de operação dos equipamentos e formulários para registro dos resultados. As entregas dessa fase seriam os certificados de testes e registros de forma a garantir que os procedimentos foram seguidos e que os equipamentos estão devidamente preparados para a operação.

A norma IEC 62337 (2012) define o pré-comissionamento e o comissionamento com fases sequenciais à construção e montagem de uma planta industrial, conforme ilustrado na Figura 5.

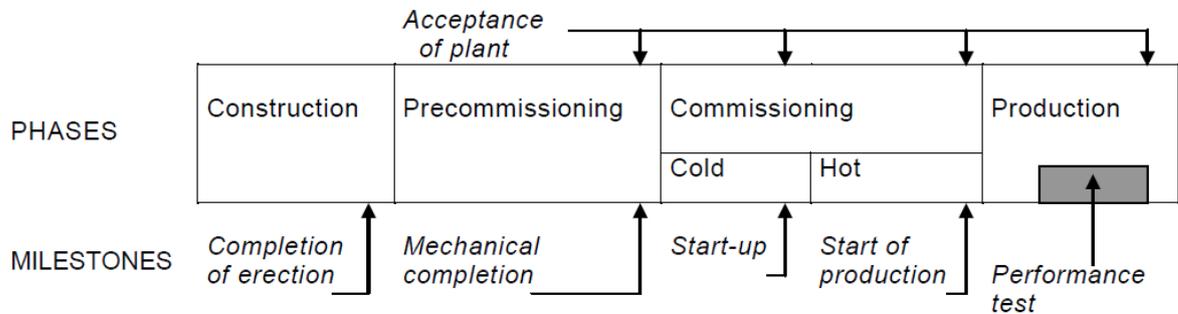


Figura 5 – Definição de fases e marcos.

Fonte: *Internation Electrotechnical Comission 62337 (IEC 62337).*

A fase do pré-comissionamento é iniciada logo após a finalização da completção mecânica, ou seja, após o fim da montagem. Essa consiste em fazer os ajustes operacionais, todos os testes a frio, alinhamentos, limpeza e os testes das máquinas. A norma possui uma lista de verificação que é anexo à mesma (Anexo B) e que descreve uma série de atividades.

O Anexo B da norma IEC 62337 (2012) é dividido em duas partes, a primeira (Anexo B1) são os procedimentos gerais, como por exemplo, indicação de responsabilidade de assistência técnica, preservação em geral, testes de estanqueidade e hidrostáticos, inspeções, inertizações, entre outros. A segunda parte do anexo (anexo B2) apresenta são os procedimentos específicos de montagem, preservações e testes de sistemas e equipamentos, como por exemplo, a montagem de internos de equipamentos estáticos (vasos, permutadores e torres), alinhamento e fixação com *grout* de compressores, bombas, teste de motores, circuitos elétricos, teste do sistema de controle distribuído, entre outros.

A norma IEC 62337 (2012) divide o comissionamento em comissionamento a frio e a quente e define esses termos como:

- Comissionamento a frio é a fase em que os testes são realizados com fluidos seguros como água ou gás inerte, antes da introdução de qualquer produto químico ou fluido perigoso.
- Comissionamento a quente é a fase de testes com o fluido do processo e que a planta vai operar, ou seja, é considerado o início da operação da planta industrial. Após o término do comissionamento a quente considera-se o início da produção.

Os conceitos e entendimentos sobre comissionamento em projetos estão normalmente relacionados à fase final do empreendimento, que consiste em realizar testes, condicionar e certificar sistemas.

O condicionamento é caracterizado como o conjunto de atividades realizadas em todos os equipamentos e sistemas operacionais a fim de torná-los aptos a operar. Todos os testes, certificações e ensaios são considerados nesta fase. Esse conceito se confunde com conceito de pré-comissionamento, mas com a observação de que o pré-comissionamento é normalmente citado por normas e literaturas estrangeiras e o condicionamento é mais utilizado nas literaturas nacionais.

O comissionamento deve atuar em todas as fases do ciclo de vida do projeto, conforme mostrado na Figura 3. Este deve ser o direcionador do planejamento de entregas de todo o projeto e não ser somente lembrado nas fases finais do mesmo.

A proposta de se utilizar o termo comissionamento antecipado é considerar no planejamento inicial do projeto, após conhecer todos os sistemas da planta industrial e a sua rede de precedência, os equipamentos e sistemas críticos e viabilizar seu comissionamento, mesmo na fase de construção. Ou seja, verificar os recursos necessários, mesmo que se tenha que construir algum sistema provisório e viabilizar testes e ensaios destes equipamentos e sistemas de modo que se identifique problemas ou defeitos.

Alguns autores, como Verri (2010), consideram como comissionamento antecipado uma montagem de boa qualidade, acompanhada por especialistas que

identificam problemas nesta fase através de determinados testes antes da entrada em operação da planta.

De uma maneira mais abrangente o comissionamento antecipado pode ser caracterizado pelo início do planejamento e a definição de todos os entregáveis, ou seja, na fase de projeto básico pode se definir as entregas e em que sequência serão feitas essas entregas. Nascimento (2014) considera que ao atuar na fase de montagem verificando-se sua qualidade há uma grande chance de se encontrar problemas e corrigí-los nas fases iniciais de um projeto, caracterizando-se o comissionamento antecipado.

2.3. GERENCIADOR DE ATIVOS

Segundo Lima (2009) o gerenciamento de ativos é uma ferramenta capaz de realizar a leitura de variáveis de processo, obter diagnósticos, parametrizar e realizar a calibração dos instrumentos de campo analógicos tais como medidores de temperatura, pressão, válvulas de controle, entre outros, ou seja, todo tipo de instrumentação de campo.

Nos últimos anos tem-se experimentado a tecnologia digital, a qual traz diversas facilidades, como por exemplo, os computadores pessoais que possuem uma enorme velocidade de processamento de dados que não havia com facilidade até a década de 80. Hoje em dia, diversos aparelhos eletrônicos possuem microprocessadores que os transformaram em verdadeiras máquinas de pensar, ou seja, uma simples geladeira pode, através da comunicação via rede digital comunicando a internet, fazer pedidos de necessidade de abastecimento.

A indústria também acompanhou essa evolução. As plantas industriais possuíam poucos instrumentos ou sensores, e com a tecnologia analógica, com acionamentos mecânicos e exclusivamente locais. A intervenção do operador nessas plantas, manobrando válvulas e verificando as condições de processo, era praticamente contínua e intensa.

Ao longo do tempo e com o advento da eletrônica, foram surgindo os sensores analógicos com a possibilidade de transmitirem informações para um centro de controle remoto. Até que chegou se à era digital, onde primeiro os sensores e transmissores faziam a leitura das informações de processo e enviavam para uma base de dados a fim de processar as informações e enviar comando para um elemento de controle. Posteriormente, surge esse mesmo sensor ou transmissor com microprocessadores e com a capacidade de medir, processar e enviar um sinal de comando para um elemento final de controle.

Todo o controle de uma planta de processo é feito através de um Controlador Lógico Programável (CLP) ou o mais comum nas plantas de refino de petróleo, o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD). Esses sistemas possuem, na maioria das vezes, os seguintes protocolos de comunicação abertos e disponíveis no mercado, HART, Foundation FieldBus e PROFIBUS, e são utilizados pelos determinados fabricantes, como por exemplo a Emerson, Smar, Yokogawa, ABB, entre outros. Esses protocolos possibilitam uma variedade de troca de informações entre o sistema de controle e os instrumentos de campo.

Com os protocolos e a troca de informações entre os sistemas de controle e os instrumentos de campo existe a facilidade de gerenciar principalmente os ativos de campo e ter a possibilidade de adquirir diagnósticos precisos do funcionamento destes ativos.

Muitos fabricantes possuem o *software* de gerenciamento de ativos com a finalidade de monitorar e alertar sobre a necessidade de intervenção em campo. A princípio, o gerenciador de ativos não é utilizado para testes e comissionamento de qualquer planta industrial. Apesar disso, Carrijo (2001), sugere a possibilidade de calibração *in loco* via *software* de gestão de ativos a partir de um dispositivo móvel portátil.

Lima (2009) descreve que devido à evolução dos *softwares* de gerenciamento de ativos a integração entre instrumentos, redes de campo e *softwares*, possibilitam funções como configuração remota, informações para comissionamento, manutenção preventiva e preditiva. Neste caso, pode se acrescentar o fato dos instrumentos serem micro processados. Uma revisão

acadêmica desta evolução está incluída na pesquisa apresentada por Chen (2016), que aborda de uma forma geral o impacto da computação/tecnologia da informação nos sistemas de controle/comando da indústria nos últimos 10 anos.

Dentro desta linha de desenvolvimentos tecnológicos que a indústria está passando com o desenvolvimento da tecnologia da informação está o Gerencialmente de Ativos. Moro (2014) descreve que o gerenciador de ativos está sendo - entre outros setores pela indústria de óleo e gás - utilizado pelas refinarias para manutenção preditiva da instrumentação interligada ao SDCD, não somente os instrumentos, mas também os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e os Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS).

2.4. TESTES DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO

O planejamento de comissionamento considera todas as etapas de testes de uma planta industrial. Os testes de malhas de instrumentação, normalmente, são um dos últimos testes a serem realizados antes da entrada em operação da planta. A norma IEC 62382 (IEC, 2012) considera que o teste de malhas seja executado na fase de pré-comissionamento conforme mostrado na Figura 4.

Os testes de malhas são executados após a calibração e montagem dos instrumentos de campo. A montagem consiste em colocar o instrumento num suporte tipo pedestal, fazer a ligação elétrica, em alguns casos suas ligações de controle, ligar o instrumento ao processo, por exemplo, tubulação, equipamentos, entre outros e aplicar uma lista de verificação de montagem.

Após a montagem o equipamento está apto a ser testado. Normalmente, os procedimentos internos são baseados em normas e experiências profissionais. As normas mais utilizadas para os procedimentos de testes de malhas são a IEC 62382 e a IEC 62337, IEC 62424, IEC 62708, BS 6739 entre outras.

A norma IEC 62382 (IEC, 2012) tem a preocupação de verificar todas as etapas anteriores ao teste de malhas, desde o teste de aceitação de fábrica (TAF) do SDCD, verificação de toda a documentação de montagem e ligação dos instrumentos até funcionalidade da malha.

Os procedimentos de testes devem considerar os recursos necessários (equipes e equipamentos), toda a documentação de projeto que deve orientar os testes e a metodologia de testes, ou seja, como estes serão executados.

A norma IEC 62382 (IEC, 2012) considera três fases no teste de malhas: verificação de documentos, inspeção visual (verificação da correta instalação dos equipamentos) e a verificação funcional (teste de todos os componentes da malha hardware, *software* e fiação).

O teste funcional é executado fazendo simulações nos sensores, atuadores, transmissores, motores, entre outros, com os equipamentos necessários e dependendo do tipo de equipamento e protocolos como, por exemplo: 4 – 20 mA, HART ou Foundation Fieldbus.

Os testes de malhas são executados por técnicos especializados que simulam os sinais nos equipamentos de campo e esses são verificados por outros profissionais que acompanham no SDCD. Com isso a verificação é completa em todo o circuito.

A simulação é feita a partir da geração da grandeza física no elemento primário de cada instrumento ou nos sensores. Em alguns casos, um procedimento específico pode orientar que os testes sejam feitos com um simulador de sinal gerado na parte eletrônica do instrumento.

Esses testes simulam pelo menos cinco pontos de verificação da faixa de trabalho de cada instrumento, 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Também são verificados os pontos de alarme e intertravamento quando aplicável. O propósito do teste de malhas é garantir que todos os componentes de instrumentação estão plenamente aptos a operarem e prontos para o comissionamento da planta. Também todos os painéis e estações de operação devem estar prontos para operação. (Danielsson, 2010).

A norma IEC 62382 (IEC, 2012) descreve todas as etapas dos testes desde a verificação do número de identificação do instrumento (*TAG number*) até o desligamento e a conexão dos sensores para verificação do comportamento junto ao SDCD.

3. METODOLOGIA DE TESTES DE MALHAS

3.1. METODOLOGIA TRADICIONAL DE TESTE DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO

Os procedimentos que suportam os testes dos sistemas de automação e toda a instrumentação das unidades de processos são executados por pelo menos cinco pessoas por malha de instrumentação. Ou seja, é uma dupla de instrumentista ou um instrumentista e um ajudante que, após o instrumento montado e conectado ao processo, prepara o instrumento, sensor ou equipamento para o teste. No terminal de controle tem-se uma pessoa (operador ou técnico de automação) que verifica o teste na tela do SDCD e dois técnicos que acompanham o funcionamento do controle e sistema de segurança.

Numa unidade em que se tem em torno de 1500 malhas com produtividade média de cinco malhas/dia/dupla, considerando em média três duplas de campo e duas telas de acompanhamento, que dá um total de dez pessoas (considerando o acréscimo das duplas e mais um operador) fazem-se todos os testes em torno de quatro meses e meio.

O procedimento citado é executado desde o início da utilização de instrumentação em unidades de processo quando toda instrumentação e sensores eram de tecnologia analógica, sendo conhecido com método de teste de malhas tradicional, conforme Figura 6. Atualmente, toda a instrumentação e sistemas de automação possuem transmissão digital de dados e processamento de dados nos próprios instrumentos e sensores.

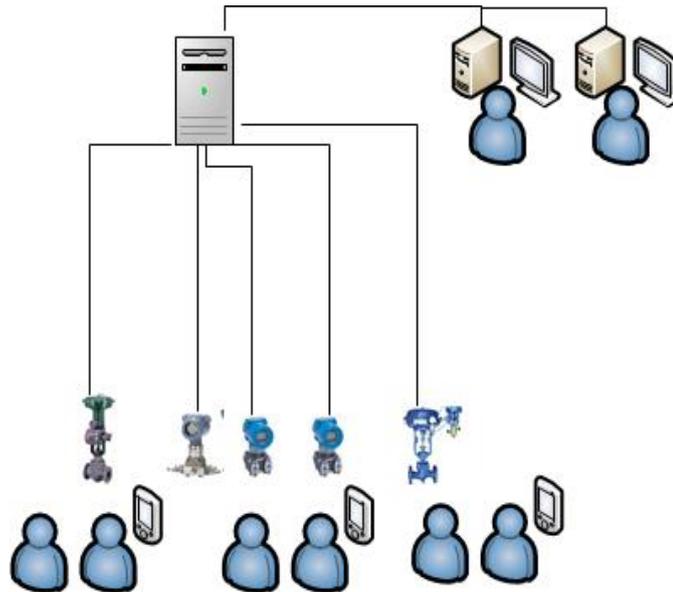


Figura 6 - Método Tradicional de testes de malhas

Fonte: Autor

A execução dos testes de malhas tem uma etapa inicial que é uma inspeção de montagem onde é aplicada uma lista de verificação desta etapa com o objetivo de se confirmar a integridade da montagem de acordo com o projeto detalhado. Essa lista, nomeada como Lista de Verificação de Malha de Instrumentação (LVMI), como por exemplo, Apêndice I, avaliam-se no mínimo os seguintes itens: verificação de locação do instrumento, verificação dos testes de continuidade dos cabos de ligação (alimentação e sinal), identificação dos cabos, bornes e instrumentos, verificação da ligação dos cabos nos instrumentos, caixas de junção e painéis de rearranjo e controle, inclusive toda a ligação de aterramento, verificação de conexão ao processo, seja por linha de impulso ou conexão de cabos a sensores e verificação do registro de calibração do instrumento.

Após a verificação de montagem pode-se energizar os instrumentos e atuadores para dar início aos testes de malhas. Normalmente existem fusíveis nos painéis de rearranjo que somente são instalados após a LVMI aprovada.

O procedimento de teste de malha é executado conforme os seguintes passos:

1 – Os recursos devem estar disponíveis, pessoas, equipamentos de testes e simulação de sinal, equipamento de comunicação entre equipes (rádios comunicadores) e a documentação necessária (no mínimo, o diagrama de malhas, diagrama lógico, lista de entradas e saídas do SDCD e a folha de registro do teste de malha).

2 – A equipe de campo deve variar a grandeza física na parte sensorial do instrumento, como por exemplo, pressão, temperatura, diferencial de pressão ou injetar um sinal na parte eletrônica do instrumento, por exemplo, corrente e/ou tensão. Para que isso ocorra à equipe deve ligar os aparelhos no instrumento, onde na maioria das vezes provoca a desconexão dos instrumentos com os cabos e linha de impulso.

3 – O profissional que está verificando os sinais na tela de controle deve avaliar se as informações estão no lugar correto da tela, se a variação de sinal está de acordo com o sinal de entrada e *range* do instrumento, se a lógica no SDCD está executando a função correta, como por exemplo, caso o sinal de saída esteja atuando num bloco de controle ou válvula de controle, deve-se verificar se os sinais de alarmes e intertravamento estão sendo atuados e se todas as configurações de tela estão conforme projeto.

4 – Por último a pessoa que está na tela deve registrar, na Folha de Registro de Teste de Malha (FRTM) (Apêndice II), os resultados encontrados.

Após o teste os técnicos de campo devem recompor as ligações no instrumento e conexões e confirmar o *status* na tela de controle.

Neste caso os técnicos se locomovem dentro da planta até os instrumentos e em algumas posições é necessária a montagem de acessos provisórios, de andaimes ou plataformas elevatórias, para possibilitar os testes de instrumentos ou sensores.

A IEC 62382 (2012) inclui as seguintes verificações na atividade de teste de malhas:

- Os componentes de hardware devem ser verificados de acordo com a funcionalidade e interoperabilidade de todos os equipamentos localizados no campo, na sala de controle.
- Verificação dos cartões de entrada e saída do sistema de controle.
- Verificação das conexões dos componentes das malhas com outros sistemas.
- Verificação de toda a configuração no software do SDCD, os gráficos de tela, os alarmes, as malhas de controle e o intertravamento.
- Verificação de todos os documentos que compõem as malhas, como por exemplo: lista de instrumentos, diagramas de malhas, diagrama de interligação, lista de entradas e saídas e lista de alarmes.

Esta norma propõe duas metodologias de testes de malhas:

- Forçada – Neste método, o elemento primário é fisicamente forçado para verificar a faixa de leitura, por exemplo, utilizando uma bomba manual para elevar a pressão na câmara de um instrumento de pressão. Desta maneira é possível testar a malha bem próximo a sua operação real. Nesta metodologia as conexões são desfeitas para a ligação das ferramentas de testes e após o teste são reconectados. Deve se ter o cuidado de refazer todas as conexões corretamente.
- Simulado – Neste método, é simulado a função do sensor com gerador de sinais na parte eletrônica do instrumento. Com o gerador de sinais é simulado o range de leitura do instrumento e verificado em tela.

3.2. METODOLOGIA DE TESTE UTILIZANDO O GERENCIADOR DE ATIVOS

A proposta é utilizar um procedimento que permita testar os sistemas de automação, as malhas de instrumentação e sensores de forma remota através dos gerenciadores de ativos do SDCD, conforme Figura 7. Todos os sistemas de SDCD utilizados dentro das empresas de petróleo e gás ou similar possuem gerenciador de ativos que permite a comunicação com os elementos remotos e disponibiliza dados

para diagnósticos de qualidade de sinais, sejam elas do tipo HART ou FF (Foundation FieldBus).

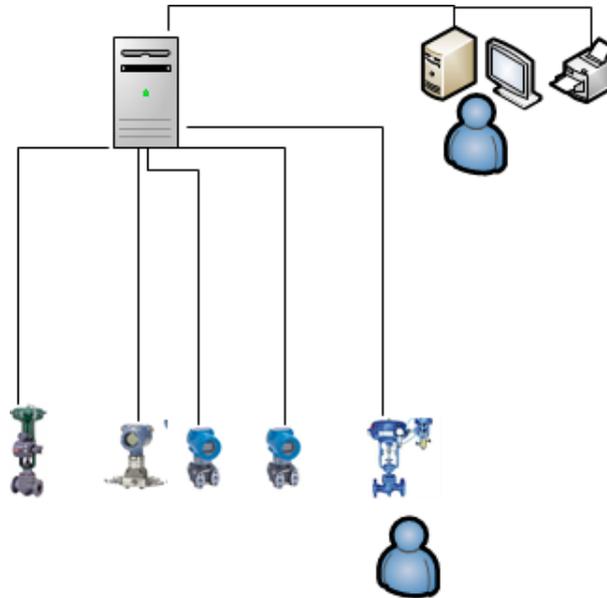


Figura 7 - Método de testes de malhas com gerenciador de ativos

Fonte: Autor

O gerenciamento de ativos tem sido muito utilizado para monitoramento e controle de ativos a fim de diagnosticar e prever falhas, através das inúmeras informações que esses sistemas possuem.

Ao utilizar o gerenciador de ativos nos testes de malhas verifica-se a vantagem de ter um diagnóstico da rede, ou seja, é observado o nível de ruído nos cabos e taxa de erro de transmissão de dados. Além desses benefícios consegue-se verificar a configuração de cada instrumento ou malha de instrumentação no SDCD ou supervisório.

A execução dos testes de malhas nessa nova metodologia deve passar por uma inspeção de montagem com aplicação da Lista de Verificação de Malha de Instrumentação (LVMI). Deve se considerar, portanto que antes do teste não é necessária à verificação de todos os itens de montagem, verificar no mínimo a locação do instrumento, verificação dos testes de continuidade dos cabos de ligação (alimentação e sinal), identificação dos cabos, bornes e instrumentos, verificação da

ligação dos cabos nos instrumentos, caixas de junção e painéis de rearranjo e controle e verificação do registro de calibração do instrumento. Não é necessário verificar neste momento as ligações ao processo, com isso pode-se iniciar os testes de malhas antes da completação mecânica dos instrumentos de campo.

O procedimento de teste de malha será executado conforme os seguintes passos, após a aplicação da LVMI:

1 – Os recursos devem estar disponíveis, pessoas (um técnico de operação no campo e um técnico de operação na tela de controle), equipamento de comunicação entre equipes (rádio comunicadores) e a documentação necessária deve estar disponível (no mínimo, o diagrama de malhas, diagrama lógico, lista de entradas e saídas do SDCD e a Folha de registro do teste de malha).

2 – O técnico na sala de controle, através do gerenciador de ativos do SDCD, envia um sinal de comando para o instrumento de campo que responde ao comando diretamente para a tela.

3 – O profissional que está verificando os sinais na tela de controle deve avaliar se as informações estão no lugar correto da tela, se a variação de sinal está de acordo com o sinal de entrada e *range* do instrumento, se a lógica no SDCD está executando a função correta, como por exemplo, se o sinal de saída está atuando num bloco de controle ou válvula de controle, deve-se verificar se os sinais de alarmes e intertravamento estão sendo atuados e se todas as configurações de tela estão conforme projeto.

4 – O próprio sistema do SDCD registra toda a troca de informação e diagnóstico e gera um relatório para registro do teste de malhas.

O resultado previsto deverá ser a redução de mão de obra para execução dos testes e comissionamentos de sistemas de automação, redução do prazo dos testes, pois o mesmo pode ser executado logo após a montagem dos elementos no campo e conseqüentemente reduzir custos do projeto. Além desses benefícios existe a real possibilidade de antecipar o comissionamento das unidades identificando problemas e corrigindo-os.

3.2.1. Tecnologia HART

O protocolo HART é um dos mais antigos protocolos inteligentes de instrumentação que tem como objetivo coletar dados de instrumentos, sensores e atuadores utilizando a tecnologia digital.

Em plantas industriais modernas os instrumentos utilizados possuem tecnologia que lhe permitem:

- Realizar e armazenar todo tipo de configuração, como por exemplo: ajuste de range.
- Verificar a funcionalidade de forma remota, através de SDCD ou PLC.
- Disponibilizar informação de funcionamento e falhas.

O acesso remoto desses instrumentos permite a configuração mais rápida, de acordo com a necessidade da planta, ter um diagnóstico em tempo real e realizar testes para verificação de integridade.

A grande vantagem do protocolo HART é manter o cabeamento utilizado no tráfego do sinal de 4 a 20 mA, para modular o sinal digital, conforme ilustrado na Figura 8. O sinal digital é modulado em chaveamento de frequência utilizando a tecnologia FSK (*Frequency Shift Keying*). A Figura 9 ilustra o sinal que trafega as frequências de 1200 Hz e 2200 Hz, representado o bit “1” e “0”, respectivamente.

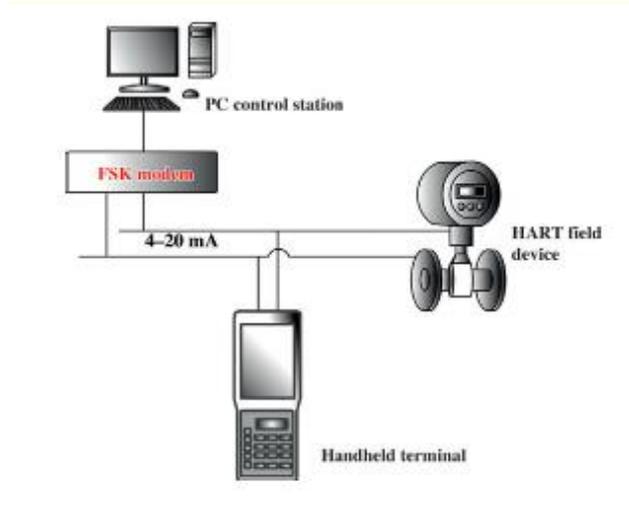


Figura 8 - Sistema com protocolo HART e rede 4 a 20 Ma

Fonte: Metha (2015)

De acordo com Lage (2009) a transmissão do sinal HART adota o padrão Bell 202 FSK (*Frequency Shift Keying*), sobreposto ao sinal de 4 a 20 mA. A frequência do sinal HART é geralmente filtrada pelos dispositivos analógicos, possibilitando a coexistência de ambos em uma linha de transmissão de dados.

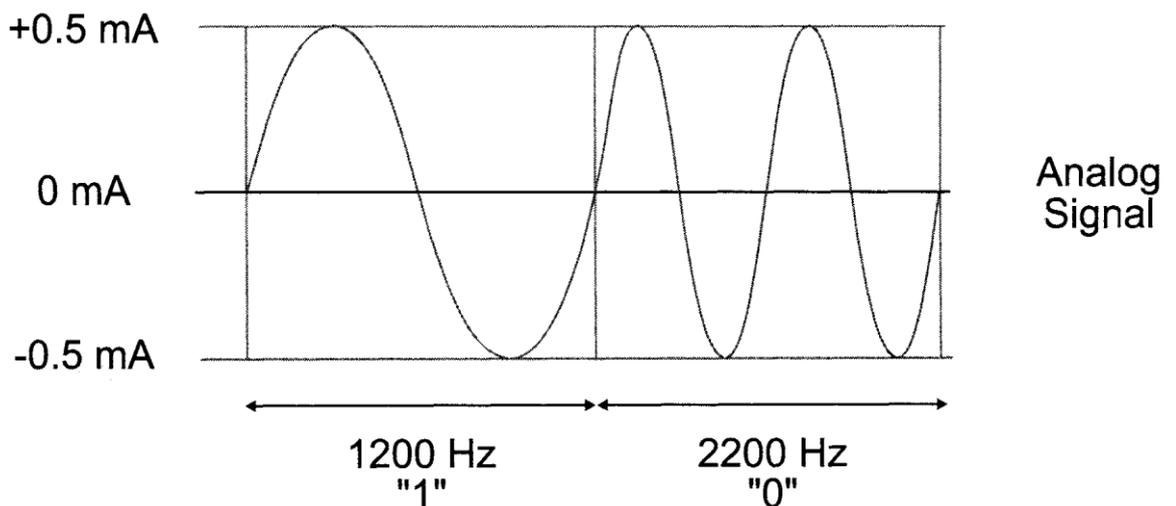


Figura 9 - Frequência típica do protocolo HART

Fonte: Mehta (2015)

Importante observar que o protocolo HART trafega informações digitais sobrepostas aos sinais analógicos de 4 a 20 mA sem que haja interferências dos sinais.

Segundo Mehta e Reddy (2015) o protocolo HART pode ser usado de três maneiras:

- Em conjunto com o sinal de 4 a 20 mA de modo ponto a ponto;
- Em conjunto com outros equipamentos de campo em rede;
- No modo ponto-a-ponto com apenas um dispositivo de campo transmitindo múltiplas informações.

3.2.2. Tecnologia Foundation Fieldbus (FF)

A tecnologia Foundation Fieldbus (FF) é uma arquitetura de rede industrial aberta, totalmente digital, com protocolo específico e comunicação bidirecional. Este foi criado pela Fieldbus Foundation, organização que é dedicada um único padrão de rede industrial interoperável.

Segundo Lage (2009) o protocolo Foundation Fieldbus possui uma forte tendência em comunicação industrial devido às suas funcionalidades em controle de processo e em gerenciamento de ativos que podem ser implementados.

A tecnologia *Foundation Fieldbus* possui dois níveis de redes: o nível de rede H1 e o nível de rede HSE (High Speed Ethernet).

A rede H1 é uma rede de nível de campo que conecta os equipamentos de campo como por exemplo, sensores, atuadores e transmissores. Essa rede funciona a velocidade de 31,25 Kbits/s e o seu meio físico utiliza o padrão IEC 61158-2 que possibilita alimentar os instrumentos com 9 a 32 VDC.

A rede HSE faz a integração dos equipamentos da rede H1 através do cartão Link Device e os controladores de alta velocidade, comunicando assim os

servidores de operação e engenharia a rede de campo. A rede HSE utiliza o padrão ethernet e possui a velocidade de 100 Mbit/s. A Figura 10 mostra a arquitetura da rede Foundation Fieldbus.

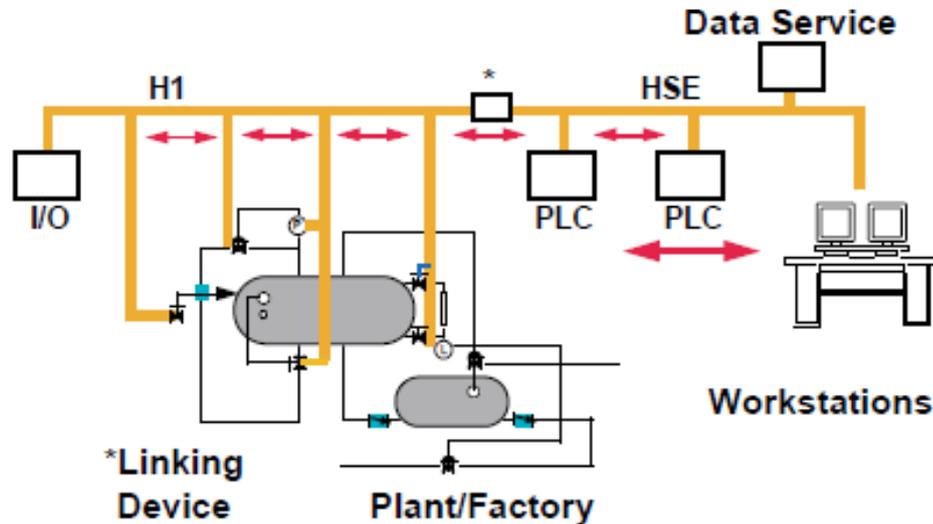


Figura 10 - Rede *Foundation Fieldbus*

Fonte: www.fieldbus.org

A rede H1 possui uma série de benefícios em comparação ao sistema analógico de 4 a 20 mA. São elas:

1. Redução do número de cabos
2. Redução do número de barreiras intrinsecamente seguras
3. Redução do número de conversores de Entradas e Saídas
4. Redução do número de gabinetes e espaço para locação dos mesmos
5. Maior quantidade de informações para diagnósticos remotos
6. Alimentação pelo cabo de dados de até 12 instrumentos a depender da distância para o *link device*.

Além dessas vantagens listadas o protocolo *Foundation Fieldbus* permite que muitos dos controles de malhas sejam configurados nos equipamentos de campo e esses funcionem sem os controladores do SDCD ou PLC, conforme observa-se na Figura 11.

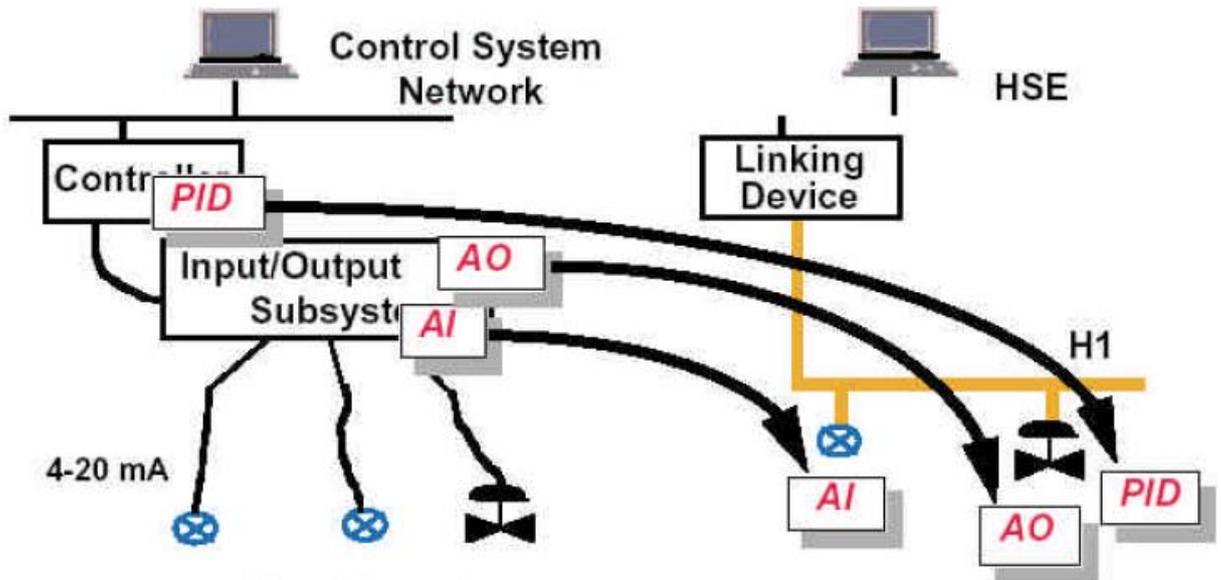


Figura 11 - Migração das funções de controle para os instrumentos

Fonte: Filho (2009)

Com isso Lage (2009) ratifica que estes sistemas utilizando controle de campo são beneficiados à medida que os custos com os cartões controladores são reduzidos, as paradas de produção em caso de falha também são minimizadas, pois o controle estará numa pequena fração da planta, bem como a redução das quantidades de cabos, painéis e acessórios.

A rede HSE supera as limitações dos segmentos H1, cujo número de dispositivos por segmento constitui um obstáculo para a comunicação externa a planta. Com isso a rede HSE proporciona a interligação de vários segmentos H1 ao SDCD, servidores e outros equipamentos para comunicação, conforme verificado na Figura 12.

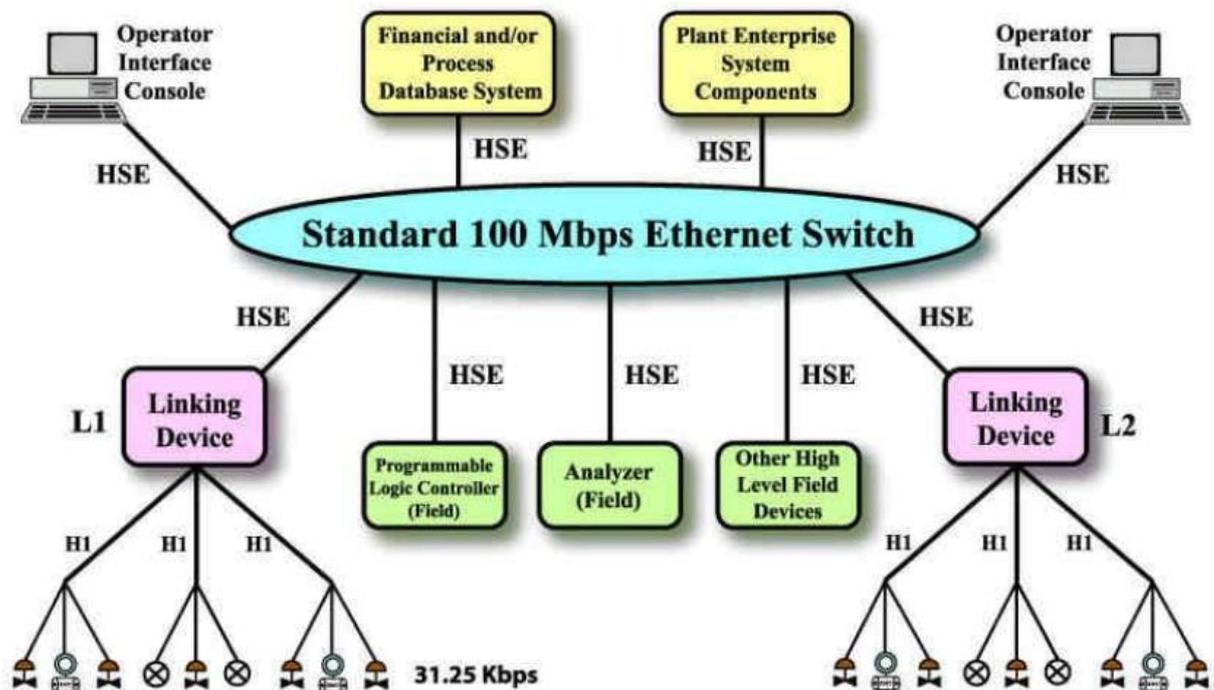


Figura 12 - Integração de Redes *Foundation Fieldbus*

Fonte: Lage (2009)

As redes *fieldbus* fornecem informações para o gerenciador de ativos. Com isso, através da comunicação em rede essas informações são disponibilizadas para o supervisor do SDCD ou PLC, através do software dedicado de gerenciamento de ativos.

Segundo Lage (2009) a tecnologia utilizada hoje de gerenciadores de ativos possibilita a realizar calibrações *on-line*, ajustes de *range*, características construtivas de equipamentos e analisar estatísticas de cada um deles. Utilizando o *fieldbus* pode-se obter disponibilidade de todas as informações dos ativos a partir dos servidores.

3.2.3. FDT/DTM

Para que se possa compreender o que venha ser o FDT (*Field Device Tool*) e o DTM (*Device Type Managers*) é necessário conhecer a EDDL (*Electronic Device Description Language*).

A EDDL era um padrão adotado somente pelo PROFIBUS até 2004 quando a IEC através da norma específica IEC 61804-2 tornou este como padrão internacional para descrição de dispositivos. Com isso o EDDL pode ser utilizado para descrever dispositivos em vários protocolos com o HART, *Foundation Fieldbus* e PROFIBUS, (Cassiolato (2010)).

De acordo com Cassiolato (2010) a EDDL é uma linguagem baseada em texto, que descreve as características de comunicação digital dos parâmetros dos equipamentos e dispositivos de campo. Facilita a informação e condições de status, diagnósticos e, através de gráficos, melhora a interface com os usuários em termos de configuração, calibração e manutenção.

A EDDL proporciona aos vários fabricantes de sistemas instrumentados a integração de qualquer equipamento com diferentes protocolos sem a necessidade de *drivers* ou qualquer software customizado, conforme ilustrado na Figura 13.

O FDT possui a mesma função da EDDL que é a integração de equipamentos. Esta integração significa que todas as informações e funções dos equipamentos de campo são acessadas e tratadas por um controle central, como por exemplo, o SDCD ou PLC.

Segundo Danzer (2007) a tecnologia FDT utiliza componentes programáveis de software chamados de DTM para fazer a integração dos equipamentos de campo. Esses componentes são *plug-ins* individuais de cada sistema desenvolvido pelos fabricantes do equipamento com capacidade de conceder acesso as informações do equipamento de campo, as interfaces gráficas dos usuários e todas as funções de configuração, diagnóstico e manutenção.

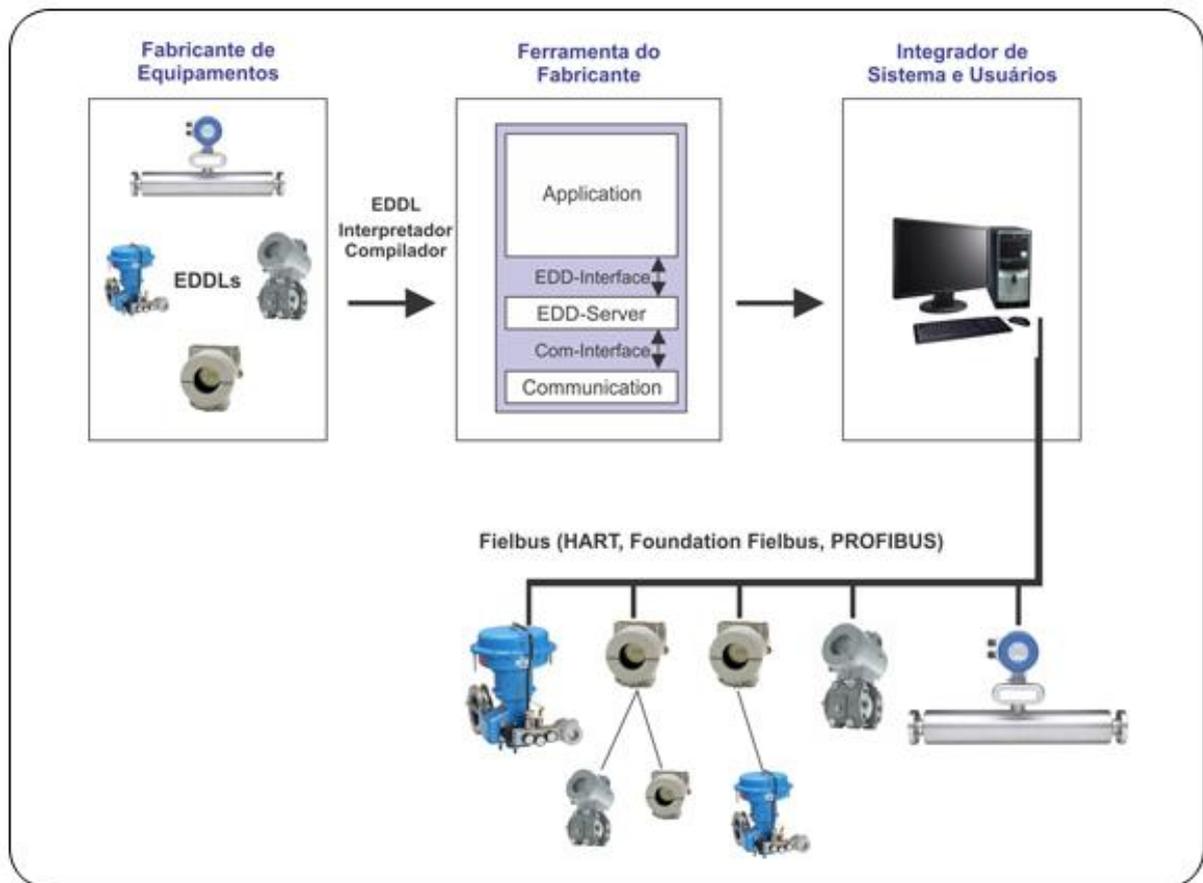


Figura 13 - Integração da EDDL em um sistema *Fieldbus*

Fonte: Cassiolato (2010)

A grande vantagem do FDT é a padronização que garante a comunicação e interoperabilidade de ferramentas de engenharia e os equipamentos de campo, através dos seus DTM.

Com isso pode-se utilizar uma ferramenta de engenharia que implemente as especificações do FDT e permita que haja a integração de diversos equipamentos de fabricantes diferentes. Sendo assim, é possível realizar configurações, obter informações e diagnósticos e utilizar seus gerenciadores de ativos.

3.3. SOFTWARE ARENA

A simulação é uma ferramenta muito útil para verificação de desempenho e otimização de processos. Facilita na tomada de decisões em um tempo bem mais curto quando comparado a um teste de fábrica. A simulação permite utilizarmos dados reais em várias condições de operação e testes para verificar o melhor cenário.

O software de simulação Arena é um dos mais utilizados no mundo segundo Pereira (2011). É um software de propriedade da Rockwell Software, empresa de automação de sistemas. A versão para estudante é gratuita, mas limitada em algumas funções. A Figura 14 mostra a tela inicial do mesmo.

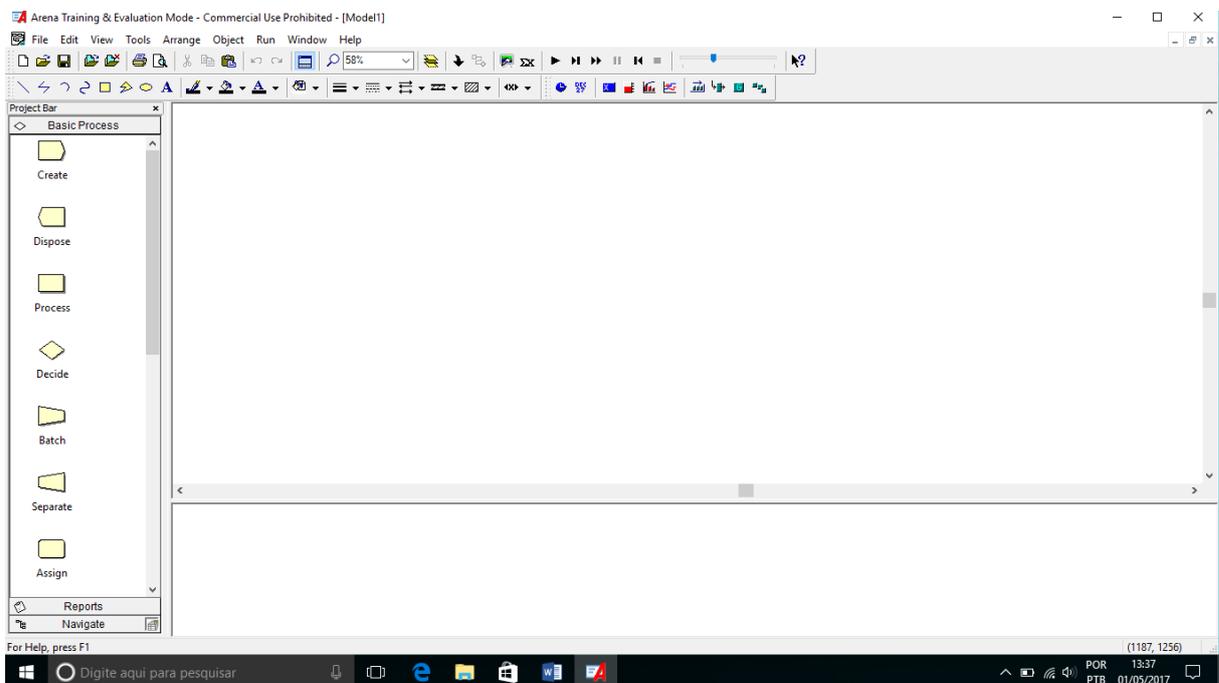


Figura 14 – Tela inicial do software ARENA

Fonte: Autor.

As aplicações deste software são diversas, e entre elas pode-se citar: avaliação de rotas de tráfego de veículos (KAMRANI et al., 2014), cadeia de suprimentos (VAMANAN et al., 2004), área de saúde na avaliação de filas de espera (ALHAAG et al., 2015) e agendamento de serviços (NAWARA and HASSANEIN, 2013).

A interação com o software é simples e possui um conjunto de blocos com funções distintas que pode se descrever uma aplicação real de um processo ou sistema. Segundo Junior (2015) esses blocos funcionam como linguagem de programação.

O Modelo utilizado nas simulações do capítulo 4 foi um modelo simplificado conforme Figura 15. Os módulos representados são: *Create*, *Process* e *Dispose*.

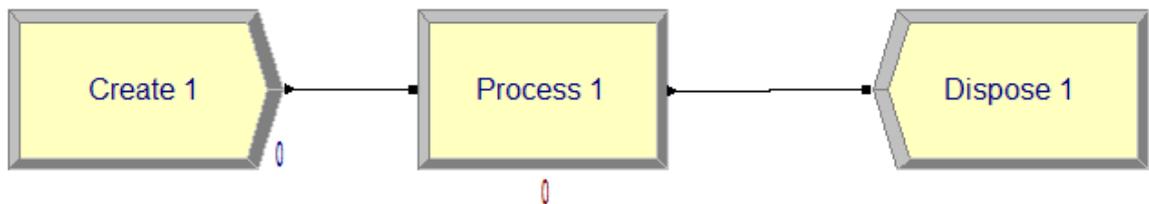


Figura 15 – Modelo simplificado de um processo no Arena.

Fonte: Autor.

O módulo *Create* é o primeiro módulo de qualquer sistema simulado no Arena, onde as entidades de simulação são criadas. Os dados que configuram esse bloco são: tempo entre chegadas que pode ser configurado como: constante, aleatório, função a ser inserida ou conforme um cronograma, número de entidades por chegada no tempo configurado e número máximo de entidades que chegam. A janela de configuração é mostrada na Figura 16.

A imagem mostra a janela de configuração do módulo 'Create' no software Arena. A janela tem o título 'Create' e ícones de ajuda (?) e fechar (X) no canto superior direito. O formulário contém os seguintes campos:

- Name:** Um campo de texto com o valor 'CIC' e uma seta para baixo.
- Entity Type:** Um menu suspenso com o valor 'Entity 1' e uma seta para baixo.
- Time Between Arrivals:** Um grupo de configurações com:
 - Type:** Um menu suspenso com o valor 'Constant' e uma seta para baixo.
 - Value:** Um campo de texto com o valor '8'.
 - Units:** Um menu suspenso com o valor 'Hours' e uma seta para baixo.
- Entities per Arrival:** Um campo de texto com o valor '10'.
- Max Arrivals:** Um campo de texto com o valor '1500'.
- First Creation:** Um campo de texto com o valor '0.0'.

Na base da janela, há três botões: 'OK' (destacado com um retângulo azul), 'Cancel' e 'Help'.

Figura 16 – Janela de configuração do módulo *Create*.

Fonte: Autor.

O módulo *Process* é onde a ação é processada, como por exemplo, onde os testes são realizados por atendente. A forma como os dados serão processados dependerão da fórmula a ser configurada neste bloco, conforme podemos observar na Figura 17.

The image shows a 'Process' configuration window with the following details:

- Name:** TESTE
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Seize Delay Release
 - Priority:** Low(3)
- Resources:** Resource, OPERADOR, 1
- Delay Type:** Triangular
- Units:** Hours
- Allocation:** Value Added
- Minimum:** 0.5
- Value (Most Likely):** 1
- Maximum:** 1.2
- Report Statistics

Figura 17 – Janela de configuração do módulo *Process*.

Fonte: Autor.

O último bloco que finaliza o processo é o módulo *Dispose*, esse é responsável por coletar os dados, copiar e disponibilizar no relatório. O relatório mostra informações estatísticas do processo, ou seja, o tempo e a quantidade de dados processados, a média de processamento desses dados e os recursos utilizados.

Na barra de tarefas principal do ARENA tem se a função *RUN*, conforme observa se na Figura 14. Nesta função tem se o *SETUP* onde é configurado o tempo total de dias de processamento e o tempo de processamento por dia. O tempo configurado é constante, ou seja, não é dividido por mês.

4. TESTES E SIMULAÇÕES

Este capítulo apresenta os resultados de produção de testes de malhas de instrumentação executados em unidade industriais de refino, bem como sua simulação no software ARENA.

O modelo utilizado para simulação é um modelo simplificado conforme Figura 14 e é influenciado pelas seguintes variáveis:

1. Quantidade de malhas a serem testadas;
2. Tempo de teste de cada malha;
3. Metodologia de teste de malhas.

A quantidade de malhas adotadas será referente à quantidade real de cada unidade, bem como o tempo adotado será considerado o prazo realizado nos testes de cada unidade.

4.1. METODOLOGIA DE TESTE TRADICIONAL

A metodologia de testes tradicional de malhas de instrumentação, conforme detalhado no item 3.1, é uma metodologia de testes onde existem no mínimo quatro pessoas envolvidas nos testes. É importante salientar que existem alguns trabalhos indiretos que também fazem parte dos testes como, por exemplo, montadores de andaimes, caldeireiros (em caso de necessidade de desmontagem de algum equipamento para viabilizar o teste).

Na tabela 1 é apresentado um sistema operacional de uma planta industrial que possui 252 malhas de instrumentos de controle e indicação e 193 malhas instrumentadas de segurança.

Tabela 1 – Número de malhas da Unidade de Geração de Hidrogênio.

UNIDADE DE PROCESSO	UGH (UNIDADE DE GERAÇÃO DE H₂)
ENTRADA EM OPERAÇÃO	jun-04
QUANTIDADE DE MALHAS DE SEGURANÇA	193
QUANTIDADE DE MALHAS DE CONTROLE E INDICAÇÃO	252
MÉTODO DE TESTE	TRADICIONAL
PRAZO DOS TESTES DE MALHAS (MÊS)	4 (88 dias)
TAXA DE MALHAS TESTADAS POR DIA	5,1
PERCENTUAL DE FALHAS DE MALHAS NA PARTIDA	7,2%

Fonte: Petrobras.

A planta industrial observada é uma planta de geração de hidrogênio com capacidade de processamento de 1 milhão de m³ de H₂, contendo como principais equipamentos uma unidade de purificação de hidrogênio, um forno reformador, dois reatores, três vasos de pressão, cinco permutadores e 600 instrumentos.

Esta planta utiliza a tecnologia HART de comunicação dos instrumentos, ou seja, toda informação é enviada através do sinal de 4 a 20 mA.

Após observar o resultado dos testes na tabela 1, pode-se concluir que:

1 – As malhas foram testadas utilizando a metodologia tradicional, ou seja, simulando os sinais nos instrumentos e verificando as informações na tela do SDCD conforme mostrado na Figura 6.

2 – A produtividade dos testes de malhas foi em torno de 5 malhas por dia, considerando que os testes foram realizados durante 8 horas por dia e somente realizado em dias úteis.

3 – A quantidade de falhas em instrumentos na partida da unidade foi de 7,2% em relação ao total de malhas, isso significa que aproximadamente 18 malhas apresentaram falha no momento da partida. Não foram identificados os tipos de

falha dos instrumentos, portanto não se pode relacionar as falhas à metodologia do teste.

Na tabela 2 é apresentado um sistema operacional de uma planta industrial que possui 951 malhas de instrumentos de controle e indicação e 59 malhas instrumentadas de segurança.

Tabela 2 – Número de malhas da Unidade de Hidrotratamento de Nafta de Coque.

UNIDADE DE PROCESSO	HDT DE NAFTA DE COQUE
ENTRADA EM OPERAÇÃO	ago-09
QUANTIDADE DE MALHAS DE SEGURANÇA	59
QUANTIDADE DE MALHAS DE CONTROLE E INDICAÇÃO	951
MÉTODO DE TESTE	TRADICIONAL
PRAZO DO TESTES DE MALHAS (MÊS)	4,5 (99 dias)
TAXA DE MALHAS TESTADAS POR DIA	10,2
PERCENTUAL DE FALHAS DE MALHAS NA PARTIDA	5,7%

Fonte: Petrobras.

A planta industrial observada é uma planta de hidrotratamento de Nafta de Coque com capacidade de processamento de 2500 m³ de nafta de coque, contendo como principais equipamentos um forno, duas torres, três reatores, cinco vasos de pressão, três compressores, duas bombas de carga e 1500 instrumentos.

Importante ressaltar que esta planta utiliza a tecnologia *Foundation Fieldbus*, com isso existe a facilidade de se verificar erros nas malhas de controle de forma antecipada. Quando os instrumentos são montados pode se verificar na tela do SDCD se há erros e, caso ocorra, os erros são corridos neste momento, ou seja, na montagem da malha.

Após análise da tabela 2 pode-se fazer as seguintes observações:

1 – As malhas foram testadas utilizando a metodologia tradicional, ou seja, simulando os sinais nos instrumentos e verificando as informações na tela do SDCD conforme mostrado na Figura 6.

2 – A produtividade dos testes de malhas foi em torno de 10 malhas por dia, considerando que os testes foram realizados durante 8 horas por dia e somente realizado em dias úteis.

3 A quantidade de falhas em instrumentos na partida da unidade foi de 5,7%, isso significa que aproximadamente 58 malhas apresentaram falha no momento da partida. Não foram identificados os tipos de falha dos instrumentos, portanto não se pode relacionar as falhas à metodologia do teste.

4.1.1. Simulação com o *Software Arena*

Foi realizada uma simulação considerando as condições similares do teste de malhas na Unidade de Geração de Hidrogênio numa refinaria no Brasil.

Foi realizada uma simulação no software Arena utilizando um modelo simplificado, conforme descrito no item 3.3. Foi considerado como variável de entrada as pastas de teste de malhas, o tempo de processamento destas pastas, ou seja, o tempo de espera de cada pasta na sala de controle para ser testada e o resultado final que expressa quantas pastas foram testadas e em quanto tempo. O modelo é apresentado na Figura 18.

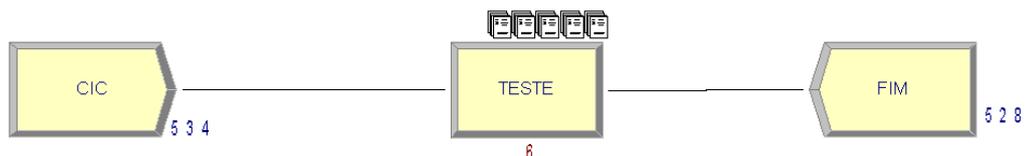


Figura 18 – Modelo de Simulação da UGH.

Fonte: Autor.

O bloco CIC é responsável pela geração da variável de entrada, denominada pastas de malha de instrumentação. Na simulação o bloco foi denominado para ser o centro integrado de controle onde as pastas de instrumentação são entregues para iniciar os testes. No bloco foi configurado o tempo de chegada de entidades de acordo com uma chegada constante, onde na simulação foi configurado para que as pastas chegassem na sala de controle de forma constante de seis em seis pastas a cada oito horas, considerando o tempo de teste constante.

O bloco TESTE é responsável pelo processamento das pastas de malha de instrumentação. Neste bloco o tempo de processamento configurado foi triangular e conforme dados do teste real, considerando o menor tempo de teste em 36 minutos, a média de 1 hora e o maior tempo de 1h e 25 minutos, ou seja, 36, 60 e 84 minutos. O seja, o teste será realizado entre 36 a 84 minutos com um tempo médio de 60 minutos. A fórmula triangular é utilizada quando é possível se determinar o valor mais provável, além do valor mínimo e máximo. Essa fórmula triangular é uma função de distribuição triangular em que considera o tempo médio como a moda da função.

O bloco fim é responsável pela finalização das pastas de malhas de instrumentação, ou seja, contabiliza a quantidade de pastas testadas no tempo estipulado.

O tempo de teste é configurado no campo Run – Setup, conforme Figura 14. Neste caso foi configurado o tempo de oitenta e oito dias de testes, considerando oito horas de testes por dia.

O modelo tradicional simulado mostra o seguinte resultado:

Número total de malhas testadas é igual a 528

A produtividade diária de malhas testadas é igual de 6 malhas

Com isso podemos concluir que o sistema simulado está funcionando bem próximo do real, ou seja, no levantamento dos testes foram realizados em torno de 5 malhas por dia, enquanto no sistema simulado foram 6 malhas por dia.

A simulação realizada com os dados da Unidade de Hidrotratamento de Nafta de Coque é modelada na Figura 19.

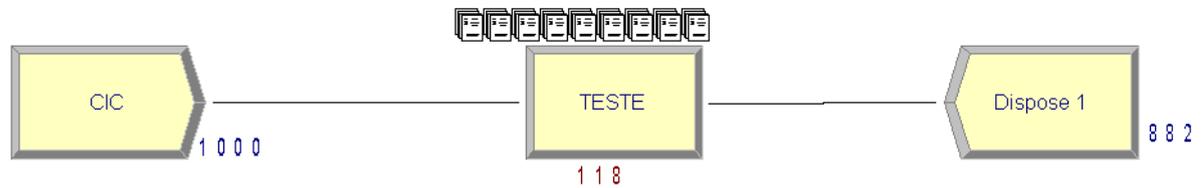


Figura 19 – Modelo de simulação da nafta de coque.

Fonte: Autor.

Para esta simulação foram utilizados os dados colhidos nos testes da unidade. O prazo para realização dos testes de malhas foi de 99 dias e a quantidade total de malhas consideradas para teste foi de 1010 malhas.

No bloco TESTE o tempo de processamento configurado foi triangular e de acordo com os dados do teste real. Foi considerado o menor tempo de teste em 30 minutos, a média de 1 hora e o maior tempo de 1h e 12 minutos, ou seja, 30, 60 e 72 minutos.

O resultado mostra que foram testadas 1000 malhas no prazo de 99 dias. A quantidade de malhas testadas por dia foi em torno de 10. Com isso o sistema simulado está próximo dos resultados reais considerando as 10 malhas testadas por dia.

4.1.2. Metodologia de Teste com Gerenciador de Ativos

A metodologia de testes com gerenciador de ativos, conforme detalhado no item 3.2, possui no mínimo duas pessoas envolvidas nos testes, o teste é realizado de forma simulada e remota, ou seja, da sala de controle onde se localizam as consoles do SDCD. Na Tabela 3 é apresentado um sistema operacional de uma planta industrial que possui 414 malhas de instrumentos de controle e indicação e 257 malhas instrumentadas de segurança, estas não foram consideradas nos testes.

Tabela 3 – Número de malhas da Estação de Tratamento de Dejetos Industriais.

UNIDADE DE PROCESSO	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DEJETOS INDUSTRIAIS
ENTRADA EM OPERAÇÃO	jun-13
QUANTIDADE DE MALHAS DE SEGURANÇA	257
QUANTIDADE DE MALHAS DE (CONTROLE E INDICAÇÃO)	414
MÉTODO DE TESTE	GERENCIADOR DE ATIVOS
PRAZO DO TESTES DE MALHAS (MÊS)	3 (66 dias)
TAXA DE MALHAS TESTADAS POR DIA	6,3
PERCENTUAL DE FALHAS DE MALHAS NA PARTIDA	6,4%

Fonte: Petrobras.

Conforme a norma N-2595 (Critérios de projeto e manutenção para sistemas instrumentados de segurança em unidades industriais) da empresa Petrobras, as malhas de instrumentação relacionadas ao sistema instrumentado de segurança devem ser testadas simulando, o mais próximo possível, as condições de operação. Inclusive as conexões ao processo devem ser testadas. As malhas de segurança são testadas periodicamente conforme sua classificação de nível de integridade de segurança SIL (*Safety Integrity Level*).

Com isso não foi observado a produção de testes das malhas de segurança devido a necessidade, por norma, de testá-las simulando as variáveis de processo. A observação ficou restrita as malhas de controle e indicação.

A planta industrial observada é uma planta de tratamento de água contaminado e oleosa que são residuais de unidades de processamento de óleo, contendo como principais equipamentos 2 floculadores, 2 flotadores, uma unidade de dosagem de produtos químicos, um sistema de filtração com 4 filtros, 10 bombas de água, 2 compressores de ar e em torno de 750 instrumentos de medição.

Esta planta utiliza a tecnologia HART de comunicação dos instrumentos para o SDCD, ou seja, toda informação é enviada através do sinal de 4 a 20 mA.

Após análise da Tabela 3 pode-se fazer as seguintes observações:

1 – As malhas foram testadas utilizando a metodologia com gerenciador de ativos, ou seja, através do SDCD, o técnico de operação ou o técnico especializado em sistema instrumentado, envia um sinal através da tela do SDCD e aguarda o retorno do sinal que é respondido pelo instrumento. Após receber o sinal do instrumento na tela é verificado se o instrumento ou a malha respondeu adequadamente.

2 – A produtividade dos testes de malhas foi em torno de 6 malhas por dia, considerando que os testes foram realizados durante 8 horas por dia e somente realizados em dias úteis.

3 – A taxa de falhas dos instrumentos na partida da unidade foi de 6,4%, isso significa que aproximadamente 26 malhas apresentaram falha no momento da partida. Não foi identificado o tipo de falha dos instrumentos, portanto não se pode relacionar as falhas a metodologia do teste.

Notou-se que para os testes de malhas com o gerenciador de ativos utilizando o protocolo HART a produtividade dos testes foi parecida com a produtividade dos testes utilizando a metodologia tradicional. Isso aconteceu por causa da velocidade de comunicação do SDCD com os instrumentos, ou seja, essa velocidade está relacionada ao protocolo HART.

O tempo de acesso aos dados dos instrumentos pelo SDCD com o protocolo HART possui um atraso em torno de 5 a 10 minutos por malha para ter acesso aos dados e realizar modificações, esse tempo é considerado no tempo de teste. Enquanto que utilizando o protocolo *Foundation Fieldbus* o acesso é praticamente instantâneo.

Na Tabela 4 é apresentado um sistema operacional de uma planta industrial que possui 1230 malhas de instrumentos de controle e indicação e 256 malhas instrumentadas de segurança, essas não são consideradas no teste simulado.

Esta planta utiliza a tecnologia *Foundation Fieldbus* de comunicação dos instrumentos para o SDCD.

Tabela 4 – Número de malhas da Unidade de Hidrotratamento de Diesel.

UNIDADE DE PROCESSO	HDT DIESEL 7500 m³/dia
ENTRADA EM OPERAÇÃO	ago-14
QUANTIDADE DE MALHAS DE SEGURANÇA	256
QUANTIDADE DE MALHAS DE (CONTROLE E INDICAÇÃO)	1230
MÉTODO DE TESTE	GERENCIADOR DE ATIVOS
PRAZO DO TESTES DE MALHAS (MÊS)	4,5 (99 dias)
TAXA DE MALHAS TESTADAS POR DIA	12,4
PERCENTUAL DE FALHAS DE MALHAS NA PARTIDA	5,4%

Fonte: Petrobras.

Após análise da Tabela 4 pode-se fazer as seguintes observações:

1 – As malhas foram testadas utilizando a metodologia com gerenciador de ativos, ou seja, através do SDCD, o técnico de operação ou o técnico especializado em sistema instrumentado, envia um sinal através da tela do SDCD e aguardo o retorno do sinal que é respondido pelo instrumento. Após receber o sinal do instrumento na tela é verificado se o instrumento ou a malha respondeu adequadamente.

2 – A produtividade dos testes de malhas foi em torno de 12 malhas por dia, considerando que os testes foram realizados durante 8 horas por dia e somente realizados em dias úteis.

3 – A quantidade de falhas em instrumentos na partida da unidade foi de 5,4%, isso significa que aproximadamente 66 malhas apresentaram falha no momento da partida. Não foram identificados os tipos de falha dos instrumentos, portanto não se pode relacionar as falhas à metodologia do teste.

Notou se que para os testes de malhas com o gerenciador de ativos utilizando o protocolo *Foundation Fieldbus* a produtividade dos testes foi melhor que a produtividade dos testes utilizando a metodologia tradicional e a metodologia com gerenciador de ativos em malhas de instrumentação com protocolo HART. Isso aconteceu por causa da velocidade de comunicação do SDCD com os instrumentos do protocolo Foundation Fieldbus.

4.1.3. Simulador de Testes Com Gerenciador de Ativos

Foi realizada uma simulação considerando as condições similares do teste realizado na Estação de Tratamento de Dejetos Industriais que é apresentado na Figura 20.

A simulação no software Arena utilizou um modelo simplificado com uma variável de entrada que são as pastas para realização dos testes de malha de instrumentação, o tempo de processamento destas pastas, ou seja, quanto tempo cada pasta ficou na sala de controle para ser testada e o resultado final que expressa quantas pastas foram testadas e em quanto tempo.

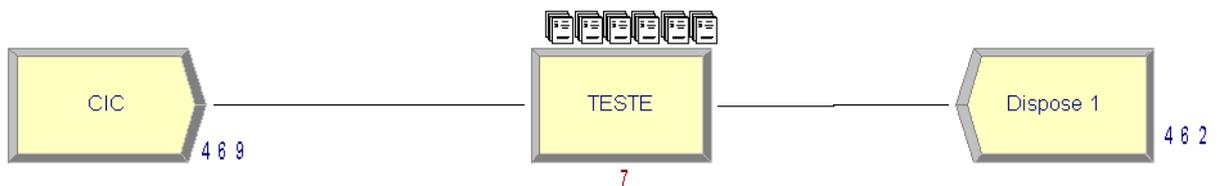


Figura 20 – Modelo de Simulação da ETDI

Fonte: Autor

Para esta simulação foram utilizados os dados colhidos nos testes da unidade. O prazo para realização dos testes de malhas foi de 66 dias e a quantidade total de malhas consideradas para teste foi de 470 malhas.

No bloco TESTE o tempo de processamento configurado foi triangular e de acordo com os dados do teste real. Foi considerado o menor tempo de teste em 30 minutos, a média de 1 hora minutos e o maior tempo de 1h e 12 minutos, ou seja, (30, 60, 72) minutos.

O resultado dos testes mostra que foram testadas 462 malhas no prazo de 66 dias. A quantidade de malhas testadas por dia foi em torno de 7. Com isso pode se concluir que a quantidade de malhas testadas no tempo com o simulador é maior que a quantidade de malhas testadas no campo.

A simulação considerando as condições similares do teste realizado na Unidade de Tratamento de Diesel que é apresentado na Figura 21.

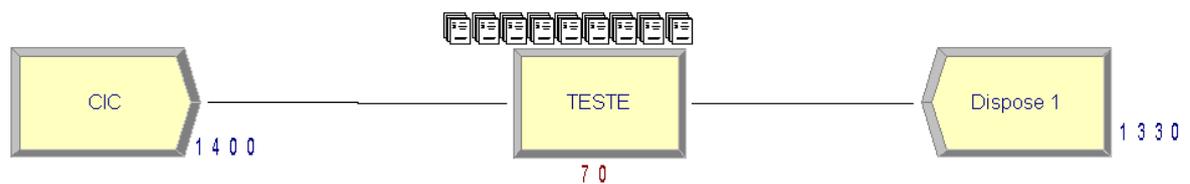


Figura 21 – Modelo de Simulação da HDT de Diesel

Fonte: Autor

Para esta simulação foram utilizados os dados colhidos nos testes da unidade. O prazo para realização dos testes de malhas foi de 99 dias e a quantidade total de malhas consideradas para teste foi de 1400 malhas.

No bloco TESTE o tempo de processamento configurado foi triangular e de acordo com os dados do teste real. Foi considerado o menor tempo de teste em 12 minutos, a média de 30 minutos e o maior tempo de 1h hora, ou seja, (12, 30, 60) minutos.

O resultado dos testes mostra que foram testadas 1330 malhas no prazo de 99 dias. A quantidade de malhas testadas por dia foi em torno de 13,4. A média de malhas testados verificado no simulador é bem próximo da média testada no campo.

5. CONCLUSÕES: COMPARATIVO ENTRE AS METODOLOGIAS DE TESTES DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO

Os testes realizados com o gerenciador de ativos e as suas simulações no software ARENA se mostraram funcionais e o erro entre os testes reais e simulados foram esperados. Os resultados mostrados no capítulo 4 foram favoráveis para a utilização do gerenciador de ativos nos testes de malhas de instrumentação em que os instrumentos utilizam o protocolo *Foundation Fieldbus*.

Normalmente as plantas industriais de processamento de petróleo são plantas com arranjos complexos e que utilizam diversos tipos de equipamentos localizados em vários níveis. Isso faz com que a sua instrumentação seja totalmente espalhada pela planta. Uma grande vantagem em testar os instrumentos de forma remota através do SDCD é não precisar acessar os mesmos, principalmente os que necessitam de montagem provisória de acesso.

A quantidade envolvida de pessoas nos testes de malhas utilizando gerenciador de ativos é menor que os testes tradicionais, conforme mostrado nos itens 3.1 e 3.2. Com isso pode se ter redução de custos em relação ao HH envolvidos nos testes.

Outra vantagem em utilizar a metodologia de testes com gerenciador de ativos é que pode-se antecipar os testes, ou seja, realizar o comissionamento das malhas de instrumentação antes da completação mecânica das mesmas. É necessário que se tenha toda a parte elétrica montada e testada, mas não necessariamente a parte mecânica, com por exemplo as conexões ao processo ou a montagem de acessórios nas tubulações.

5.1. PRODUTIVIDADE

A produtividade dos testes de malhas utilizando o gerenciador de ativos se mostrou mais favorável que a realização dos testes de malhas tradicionais, a Tabela 5 mostra os resultados dos testes tradicionais comparando os resultados reais com

os simulados e a tabela 6 mostra os resultados dos testes com o gerenciador de ativos. Importante observar que o cálculo da produtividade mostrada nas Tabelas 5 e 6 é simplesmente a quantidade de malhas total de cada unidade por dia de teste.

Tabela 5 – Resultados dos testes de malhas utilizando o método tradicional.

METODOLOGIA TRADICIONAL		
PLANTA	Malhas testadas por dia	
UGH	REAL	5,1
	SIMULADO	6
NAFTA	REAL	10,2
	SIMULADO	10

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Resultados dos testes de malhas utilizando o método de gerenciador de ativos.

METODOLOGIA COM GERENCIADOR DE ATIVOS		
PLANTA	Malhas testadas por dia	
ETDI	REAL	6,3
	SIMULADO	7
HDT	REAL	12,4
	SIMULADO	13,4

Fonte: Autor.

Nota se que a produtividade dos testes de malhas de instrumentação da planta industrial de HDT possui a maior produtividade entre as plantas representadas na Tabela 5. Essa planta possui a rede *Foundation Fieldbus* na sua arquitetura de automação.

A Tabela 7 mostram várias plantas industriais e refinarias no Brasil, que possuem as mesmas características que as plantas da Tabela 5 e as suas respectivas produtividades de testes de malhas de instrumentação. Os testes de malhas realizados nestas plantas seguiram o modelo tradicional.

Tabela 7 – Produtividade de teste de malha em plantas industriais.

METODOLOGIA TRADICIONAL		
PLANTA	Média de malhas testadas por dia	Número de Dias de medição
HDS A	5,7	25
HDS B	7,7	9
COQUE	7,6	34
HDT A	6,3	30
HDT B	4,6	36
HDT C	4,1	33
URC	6,6	32

Fonte: Petrobras.

Foi utilizada uma metodologia de acompanhamento em campo para apontamento da produtividade dos testes de malhas das plantas da Tabela 7. A metodologia prevê que um profissional com a função de apontador acompanha a equipe de execução dos testes de malhas desde a chegada a obra até a saída.

Esse levantamento aponta quanto tempo a equipe faz o deslocamento até a frente de serviço, fica no canteiro, fica parada esperando alguma ação dependente e o tempo efetivamente do serviço, como mostrado na Figura 22.

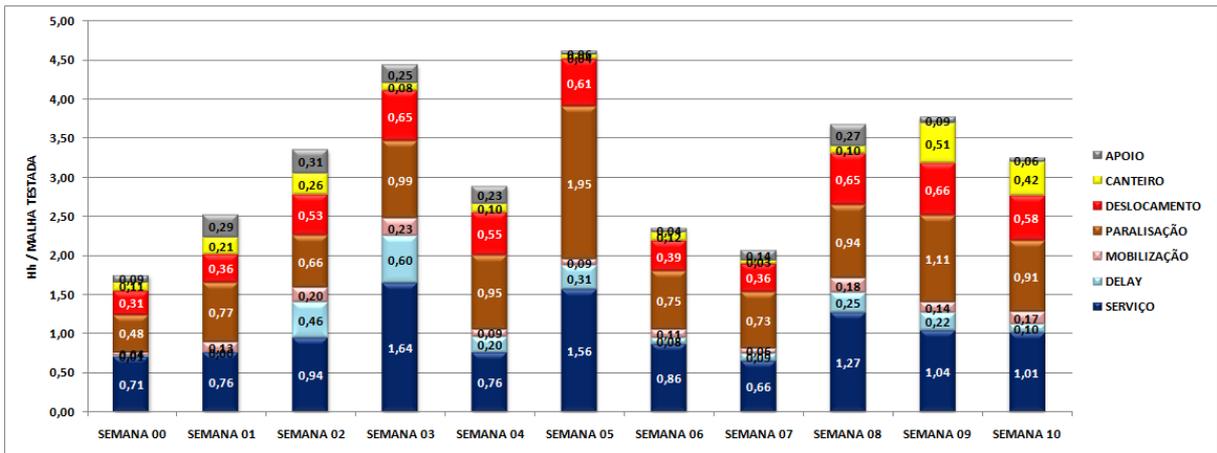


Figura 22 – Produtividade de Teste de Malhas

Fonte: Petrobras.

Pode se observar na Figura 22 que grande parte da improdutividade dos testes de malhas está relacionado a paralisações. Normalmente, essas paralisações estão relacionadas ao tempo de preparação da malha para o início dos testes. A equipe precisa se deslocar até ao instrumento a ser testado, montar o gerador de sinais no instrumento e entrar em contato com a pessoa que está na tela do SDCD. Utilizando a metodologia de testes com o gerenciador de ativos esse tempo parado é praticamente eliminado, pois não há a necessidade de intervenção no instrumento de campo.

Pode se concluir que embora em alguns casos mostrados nas tabelas 5, 6 e 7 as produtividades sejam bem próximas há mais vantagens em se realizar aos testes de malhas com gerenciador de ativos. Comparando a tabela 5 e 6 com a tabela 7, pode se observar que os resultados são muito próximos, com exceção aos resultados dos testes das unidades de HDT de Nafta de Coque e de HDT de Diesel cujas produtividades são superiores as demais. Essa diferença se dá pelo fato das unidades utilizarem o protocolo Foundation Fieldbus.

5.2. PROCEDIMENTO PROPOSTO

No Apêndice III é proposto um procedimento de testes de malhas de instrumentação utilizando gerenciador de ativos, ou seja, os testes são executados do SDCD.

Cada fabricante de SDCD possui seu gerenciador de ativos, com isso o fornecimento desta ferramenta é obrigatório para realização dos testes. É importante observar que na implementação do SDCD deve ser considerada a instalação do gerenciador de ativos já na fase de comissionamento para se viabilizar os testes.

Para a realização dos testes de malhas basta que os instrumentos estejam ligados eletricamente, ou seja, não há necessidade de que toda a ligação mecânica ao processo esteja completa.

O procedimento aborda as condições de montagem para realização dos testes, os recursos necessários, sejam ferramentas, sejam pessoas e a fase da obra para realização dos mesmos.

Com este trabalho comprova-se a oportunidade de utilizar o gerenciador de ativos como ferramenta para a execução dos testes de malhas de instrumentação. Através do software ARENA é possível estimar com boa margem de segurança o tempo para execução da tarefa de comissionamento e assim as equipes de planejamento e orçamento efetuarem previsões de tempo e custo mais assertivas.

Observou-se neste estudo que os sistemas com protocolo Foundation Fieldbus apresentaram melhores resultados que os sistemas que utilizam o protocolo HART, o que não impede esta metodologia (comissionamento antecipado mais o software ARENA) ser utilizada para outros protocolos.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A dissertação é objetiva o comissionamento de malhas de instrumentação, mas existem vários sistemas numa planta industrial que precisam ser tratados com muita atenção, pois são de extrema importância para a planta e podem impactar em atrasos de prazo e custo para o projeto, como por exemplo, as grandes máquinas, como, por exemplo, compressores e bombas centrífugas.

O planejamento de comissionamento deve acontecer no início do projeto, principalmente com as definições de quais equipamentos e sistemas são críticos para a montagem e comissionamento da planta. Com isso, deve se traçar um plano de antecipação de comissionamento para garantir a integridade desses

equipamentos e evitar problemas, como falta de eficiência, danos, incompatibilidades, entre outros que possam causar até mesmo o insucesso no projeto.

Os testes de malhas de instrumentação, conforme exposto neste trabalho, são de suma importância para que a planta seja entregue dentro do prazo e custo do projeto, principalmente porque na sequência de montagem as malhas de instrumentação são as últimas a serem montadas.

Da mesma forma que, neste trabalho, se propõe utilizar uma ferramenta para testar as malhas de instrumentação e assim antecipar o comissionamento e evitar surpresas nas vésperas da partida da planta, pode se mapear sistemas e equipamentos críticos para a antecipação do comissionamento destes.

As plantas industriais de petróleo, na maioria delas, trabalham com pressões e temperaturas elevadas. Com isso, utilizam equipamentos específicos, dedicados e na maioria das vezes são feitos por encomenda. Os equipamentos rotativos deveriam sofrer os mesmos cuidados que foi sugerido aqui para os testes de malhas de instrumentação.

Deve se avaliar como testar essas máquinas, quais tecnologias utilizar e recursos necessários para viabilizar os testes assim que esses equipamentos chegam à obra. Ou seja, a antecipação do comissionamento dessas máquinas será traduzida em redução dos riscos de atraso na partida da planta industrial e, por consequência, maior probabilidade de sucesso na entrada de operação.

Da mesma forma que aplicado os testes de malhas em sistemas com HART e *Foundation Fieldbus*, propõe-se como trabalhos futuros uma extensão desta metodologia para outros sistemas como Profibus e TCP/IP, sendo que a simulação no ARENA, com o modelo simplificado, deve ser realizada no início do projeto e comprovada ao final da montagem.

7. BIBLIOGRAFIA

ALHAAG, M.H., AZIZ, T. and ALHARKAN, I.M., A queuing model for health care pharmacy using software Arena, In: 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), 2015. doi: 10.1109/IEOM.2015.7093849.

BAHADORI, A. Chapter16. Start-up Sequence and Commissioning Procedures. *Natural gas Processing*. P. 803-840, 2014. Austrália. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-099971-5.00016-7>.

BENDIKSEN, T.; YOUNG, G. Commissioning of Offshore Oil and Gas Projects: The Manager's Handbook. Estados Unidos: AuthorHouse, 2005. 214 p.

BENDIKSEN, T.; YOUNG, G. Commissioning of Offshore Oil and Gas Projects: The Manager's Handbook. Estados Unidos: AuthorHouse, 2015. 177 p.

BRITO, M.E., LOPES, R.O.A., ROCHA, L. and QUALARINI, E. L., Beyond Buildability: Operability and Commissioning of Industrial Facilities, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 226, pp. 67-74, 2016. doi: 10.1016/j.sbspro.2016.06.163.

CAGNO, Enrico; CARON, Franco; MANCINI, Mauro. Risk analysis in plant commissioning: the Multilevel Hazop. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 77, n. 3, p. 309-323, 2002. doi: 10.1016/S0951-8320(02)00064-9.

CARDOSO, Leandro. Simulação a eventos Discretos para análise e comissionamento em sistemas de Manufatura. *Universidade Candido Mendes. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Curso de Mestrado em Engenharia de Produção*. Campos dos Goytacazes, RJ. 2013.

CARRIJO, R. S. Gerenciamento de ativos aplicado a instrumentos de campo de protocolos abertos: uma abordagem a partir de dispositivos móveis. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CASSIOLATO, C. EDDL - Electronic Device Description Language & FDT/DTM – Field Device Tool/ Device Type Management & FDI - Field Device Integration, 2010. 10 p. Disponível em <http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/eddl-electronic-device-description-language-fdt-dtm-field-device-tool-device-type-management-fdi-field-device-integration>. Acesso em 10/12/2016.

CHAO, L.C.; CHEN, H.T. Predicting Project Progress Via Estimation Of S-Curve's Key Geometric Feature Values. Elsevier, Taiwan: Automation in Construction v.57, 33-41 p.,2015. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.04.2015.

CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 415, DE 24 DE SETEMBRO DE 2009
Publicada no DOU nº 184, de 25/09/2009, págs. 53-54

COSTA, C.E.S., MULLER, I., WINTER, J.M., NETTO, J.C., PEREIRA, C.E. and RAMOS, R.R., Industrial Wireless Instrumentation and the Current Commissioning Model, IFAC Proceedings Volumes, vol. 47, pp. 2617-2621, 2014. doi: 10.3182/20140824-6-ZA-1003.02035.

DA COSTA, Carlos ES et al. Industrial Wireless Instrumentation and the Current Commissioning Model. IFAC Proceedings Volumes, v. 47, n. 3, p. 2617-2621, 2014.

DANIELSSON, A. Instrument Installation and Commissioning. *Journal Automation and Control Systems*. Capítulo 38. P. 655-660, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-7506-8308-1.00038-3>.

DANZER, Benjamin; GROBMANN, Daniel. FDI–The Future of Open Device Integration. IFAC Proceedings Volumes, v. 40, n. 22, p. 285-290, 2007. doi: 10.3182/20071107-3-FR-3907.00040.

FERIK, El S. Automation technology in hydrocarbon fuel processing plant. Woodhead Publishing Limited. Pg. 463-495. 2011.

Fieldbus Foundation. Technical Overview. Austin, Texas. 2003. 37 p. Disponível em <http://www.fieldbus.org>. Acesso em 02/01/2017.

FILHO, C. S. Foundation Fieldbus, 2009. 42 p. Apostila de aula. Disponível em <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/FF.pdf> Acesso em 01/02/2017.

FRAME, J. D. Managing projects in organizations: How to make the best use of time, techniques and people. 3. Ed. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2003.

FURLLOW, W. Commissioning making the connection between construction and Operations. Magazine Oil and Gas Facilities. Vol. 3 No 5, pag. 33 e 34, Outub. 2014. doi: 10.2118/1014-0033-OGF.

GANDRA, R. M. Comissionamento como uma ferramenta do processo de controle de qualidade em projetos industriais. *Revista Mundo Project Management*. Curitiba, Edição 30, artigo 04, Dez./Jan. 2010.

HOLBOOK, J.A; GOLSON, L.A. Commissioning, Startup, and Early Operation of the Gemini Development. *Revista OnePetro*. Houston, Pag. 46 e 47, Abril 2001.

International Electrotechnical Comission. IEC 61158-2. Digital data communications for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems. Part 2: Physical layer specification and service definition. Suíça, 2003.

International Electrotechnial Comission. IEC 61804-2. Function blocks (FB) for process control – Part 2: Specification of FB concept. Suíça, 2006.

International Electrotechnical Comission. IEC 62337. Commissioning of electrical, instrumentation and control systems in the process industry – Specific phases and milestones. Suíça, 2012.

International Electrotechnical Comission. IEC 62382. Control systems in the process industry – Electrical and instrumentation loop check. Suíça, 2012.

JANOSOSVSKY, J., DANKO, M., LABOBSKY, J. AND JELEMENSKY, L., The role of a commercial process simulator in computer aided HAZOP approach. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 107, pp. 12-21, 2017. doi: 10.1016/j.psep.2017.01.018.

JUNIOR, J.D; AUGUSTO, J.C.M. Arquitetura de supervisão integrada ao Arena para simulação e avaliação do indicador OEE. Curitiba, PR. 2015.

JUNIOR, Milton V. S. Processo de comissionamento em Plantas de óleo e gás: Implementação dos off-sites e sistemas auxiliares em uma refinaria de petróleo. *X Simpósio de Excelência de Gestão e Tecnologia*. Resende, RJ. 2013.

KAKA, A. P.; PRICE, A. D. F. Modeling Standard Cost Commitment Curves For Contractors' Cash Flow Forecasting. *Construction Management and Economics*, v. 11, n. 4, 271–283 p., 1993. doi: 10.1080/01446199300000027.

KAMRANI, M., ABADI, S.M.E.H. and GOLROUDBARY, S.R., Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using ARENA software, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 49, pp. 167-179, 2014. doi: 10.1016/j.simpat.2014.09.006.

KILLCROSS, M. Chemical and process plant commissioning handbook: A practical guide to plant system and equipment installation and commissioning. Elsevier, 2011.

KING, D. M. Planejamento do Comissionamento via Rede de Precedências Operacional usando o Primavera. 5 p. Rio Grande, RS. 2012.

KONG, Xiangjun et al. Realising the open virtual commissioning of modular automation systems. Presented at the 7th International Conference on Digital Enterprise Technology, P. 28-30. Atenas. 2011.

LAGE, F. S. Comunicação Industrial. Ouro Preto, MG. 2009. 214 p.

LANE, G.; MESSENGER, P. Commissioning. *Developments in Minerals Processing*. V.15. pp: 158-180, 2005.

LIMA, R. SEBAJE, L., INGRASSIA, A.S. MORELLO, R. Gestão de Ativos Aplicado em Plataforma de Petróleo. In: 13^o Congresso Internacional de Automação, Sistemas e Instrumentação. 2009.

MCARDLE, Shane Gerard et al. The life cycle simulator: From concept to commissioning and beyond. In: SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2010.

MECHHOUD, E.; ROUAINIA, M.; RODRIGUEZ, M. A New tool for risk analysis and assessment in petrochemical plants. Alexandria Engineering Journal, v. 55, n. 3, p. 2919-2931, 2016.

(A) MEHTA, B.R., REDDY Y.J. Chapter 11 – Hart Communication Industrial Process Automation Systems, 2015, Pages 365-380.

(B) MEHTA, B.R. and REDDY, Y.J., Industrial Process Automation Systems – Design and Implementation, Elsevier, 2015. doi: 10.1016/B978-0-12-800939-0.00027-9i.

MILHEIRO, J.B. Análise da atuação da Engenharia de manutenção durante as atividades de comissionamento: estudo de caso. Santos, SP. 2012.

MORO, L. FI; ZANIN, A. C. O Papel da Automação Industrial na Excelência Operacional do Refino de Petróleo.

MURIARIA, C. and VIZZINI, G., Project risk management: A deterministic quantitative technique for assessment and mitigation, International Journal of Project Management, vol. 35, pp. 320-340, 2017. doi: 10.1016/j.ijproman.2017.01.010.

N-2595. Norma Técnica Petrobras. Critérios de Projeto, Operação e Manutenção de Sistemas Instrumentados de Segurança em Unidades Industriais. Pg. 82, 2015.

NASCIMENTO, W. C. Processo de comissionamento para projetos Industriais. Trabalho de Conclusão de curso de Gerenciamento de Projetos da Faculdade Internacional Signorelli. Belo Horizonte, MG. 2014.

NAWARA, G.M. and HASSANEIN, W.S., Solving the Job-shop Schedule problem by Arena Simulation Software, International Journal of Engineering Innovation & Research, vol. 2, pp. 161-163, 2013.

NAYAK, C. Gurudas et al. A case study on application of Fieldbus in the automation of Coke Oven Battery. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, v. 1, n. 9, p. pp: 28-31, 2012.

PEREIRA, Carla Roberta et al. Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe. 2011.

PRATES, A.; Inovações tecnológicas no comissionamento de projetos de Óleo & Gas. em: Revista TN Petróleo, ano IX, num 50, 2006.

RANGEL, J. J. de A; Júnior, É. C. Avaliação de um mecanismo de teste de um sistema de controle com um modelo de simulação. *XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Ubatuba, SP. 2011.

Resolução 40/2013 da ANP (Agência Nacional do Petróleo): especificação de gasolina automotiva, publicada no diário oficial DOU de 30.10.2013.

SWEET, E. C. The Value of an electrical commissioning agent. *Journal EC&M*. Kansas – EUA. Pag. 25-28. Junho 2014.

VAMANAN, M., WANG, Q., BATTÀ, R. and SZCZERBA, R.J., Integration of COTS software products ARENA & CPLEX for an inventory/logistics problem, *Computers & Operation Research*, vol. 31, pp. 533-547, 2004. doi: 10.1016/S0305-0548(03)00010-8.

VERRI, L. A. Gestão de ativos: O comissionamento antecipado na construção e Montagem como vetor positivo na preservação da confiabilidade. *Congresso Abramam*, Rio de Janeiro, 2010.

VERRI, L. A. Manutenção de Instalações Elétricas. P. 1-5. São Paulo, 2009. Disponível em http://www.verriveritatis.com.br/Toro/maio2009/Manutencao_em_instalacoes_eletricas.pdf. Acesso em 05/10/2016.

YU, W. and SKIBNIEWSKI, M.J., Quantitative constructability analysis with a neuro-fuzzy knowledge-based multi-criterion decision support system, *Automation in Construction*, vol.8, pp. 553-565, 1999. doi: 10.1016/S0926-5805(98)00105-8.

APÊNDICE I

Lista de Verificação				
MONTAGEM DE INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO				
ESPECIALIDADE: INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO / MONTAGEM			RESPONSÁVEL TÉCNICO:	
TIPO DE LV : LV PADRÃO			CADASTRADOR:	
ORIGEM:			ÚLTIMO REVISOR:	
REVISÃO:			STATUS:	
TIPO DE AVALIAÇÃO :			DATA DE APLICAÇÃO:	
NÚMERO PERGUNTA	DESCRIÇÃO PERGUNTA	PESO	REQUISITO LEGAL	EVIDÊNCIA / TIPO
1	O Construtor dispõe de procedimento aprovado de fabricação e montagem de linhas de impulso e manifolds?	3	Não	
2	O Construtor dispõe de procedimento aprovado de montagem de instrumentos e equipamentos?	3	Não	
3	Durante a etapa de montagem, estão sendo utilizados os documentos de projeto em sua última revisão?	2	Não	
4	O Construtor monta os instrumentos e equipamentos conforme procedimento?	2	Não	
5	A montagem de elementos frágeis está sendo executada de forma a evitar riscos de danos?	1	Não	
6	Instrumentos, cujas especificações estejam não conforme, estão identificados, segregados e ações de solução já tomadas?	1	Não	
7	As portas dos painéis e tampas de caixas de junção possuem abertura livre de obstáculos?	1	Não	
8	As válvulas de controle estão montadas observando o sentido de fluxo correto?	3	Não	
9	Estão sendo removidas as rebarbas de materiais cortados, tais como, tubings, eletrodutos e bandejas?	2	Não	
10	Os instrumentos de linha ou equipamentos estão sendo interligados ao processo somente após o condicionamento da tubulação ou do equipamento?	1	Não	
11	Os instrumentos de flange estão sendo montados com verificação de paralelismo de flange acompanhado pelo inspetor de instrumentação?	1	Não	
12	Os instrumentos e acessórios estão montados de forma a facilitar a manutenção e operação?	1	Não	
13	Os cabos instalados no interior de painéis e caixas de junção encontram-se identificados, organizados e com os chicotes prontos?	2	Não	
14	Instrumentos, tais como manômetros e termômetros, estão sendo montados somente após a conclusão da montagem mecânica das cercanias?	1	Não	
15	Os prensa-cabos instalados apresentam diâmetro e material adequado e atendem à classificação de área?	2	Não	
16	Os instrumentos estão montados o mais próximo possível de suas respectivas tomadas, a fim de reduzir a influência de oscilações?	1	Não	
17	O aterramento de instrumentos, bandejas, suportes e painéis encontram-se instalado conforme projeto?	2	Não	
18	As alterações de campo estão sendo devidamente registradas em uma cópia master e retornadas ao projeto?	3	Não	

APÊNDICE II

X-0000

(TAG DA MALHA)

Nº DA PASTA:

MALHA Nº: (Ex. TIT 0000 000).

DESCRIÇÃO: (Ex. malha no sistema A)

SOP: (numero do sistema operacional)

ITENS DA MALHA: (todos os componentes da malha Ex. TE e TT).

LOGOTIPO

HART / FIELDBUS

		CONTROLE DE MALHA						PASTA:	
								MALHA:	
CLIENTE:		LOCAL:			OBRA:		UNIDADE:		
ÍNDICE DE DOCUMENTOS									
		Revisão: A		Revisão: B		Revisão: C		Revisão: D	
		Data:		Data:		Data:		Data:	
		Const.	Cliente	Const.	Cliente	Const.	Cliente	Const.	Cliente
Diagrama de Malha									
Certificados de Calibração									
Folhas de Dados									
Testes	Hidrostático								
	Pneumático								
	Elétrico								
Lista de Verificação e Montagem									
Teste de Malha									
Pendências da Malha (Montagem)									
Pendências Test (Malha)									
OBSERVAÇÕES A CARGO DO CLIENTE									
DATA	ANOTAÇÕES						VISTO		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 150px; text-align: center;"> APROVAÇÃO P/ TESTE </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 150px; text-align: center;"> APROVAÇÃO FINAL </div> </div>									

TESTE DE MALHA

		TESTE DE MALHA												Comissionamento			
MALHA:						SUBSISTEMA:								PASTA:			
DIAGRAMA Nº:						PLANTA:								DATA:			
INSTRUMENTO PADRÃO UTILIZADO		TAG		Nº CERTIFICADO			Nº DE SÉRIE			ÓRGÃO OFICIAL		VALIDADE		OBSERVAÇÃO			
ENTRADAS / SAÍDAS ANALÓGICAS																	
TAG	0%	25%	50%	75%	100%	Range	Un. Engº	ALARME		Tela Gráfica	CARACT.	Situação de Falha	Alimentação Ar Válvula	Condição Segurança Válvula	Visto Executante	Visto Fiscal	Observações
								Tipo	Set Point								
Observações Gerais:																	
Realizado Por:		DATA				Aprovação do Cliente						Visto		Data			
Campo	Controle Executante					() Parcial		Nome									
						() Definitiva											

APÊNDICE III

Número	REV. 0	dd/mm/aaaa
--------	--------	------------

TESTES DE MALHAS DE INSTRUMENTAÇÃO

Procedimento Específico

Os comentários e sugestões referentes a este documento devem ser encaminhados à Anderson José Rangel de Oliveira, indicando o item a ser revisado, a proposta e a justificativa.

Este documento normativo tem a validade de X anos a partir da sua edição, prazo máximo para a realização da próxima revisão.

Apresentação

Este documento visa fornecer orientações e instruções para a o gerenciamento do processo de Comissionamento em plantas industriais de petróleo.

GESTOR: ANDERSON RANGEL	APROVADOR:
Matrícula:	Matrícula:

SUMÁRIO

- 1 OBJETIVO
 - 2 APLICAÇÃO
 - 3 ATRIBUIÇÕES E REPONSABILIDADES
 - 4 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
 - 5 TERMINOLOGIA E SIGLAS
 - 6 CONDIÇÕES GERAIS
 - 7 EXECUÇÃO DOS TESTES DE MALHAS
 - 8 LIBERAÇÃO PARA OPERAÇÃO
-

1 OBJETIVO

Este procedimento tem como objetivo definir a metodologia de teste de Malhas de Instrumentação, realizados na etapa de comissionamento e relacionados a planta de industrial de refino de petróleo.

2 APLICAÇÃO

Este procedimento é aplicável aos testes de malhas de instrumentação e equipamentos de automação e controle, durante o processo de comissionamento em qualquer planta industrial de refino de petróleo.

3 ATRIBUIÇÕES E RESPONSABILIDADES

As atribuições e responsabilidades entre a Contratante e Contratada serão definidas na Matriz de Responsabilidade diretriz de Comissionamento do Contrato.

3.1. CABE AO CONTRATANTE:

- a) Manter este documento atualizado;
- b) Acompanhar o andamento da execução dos testes de malhas.

3.2. CABE À CONTRATADA:

- a) Manter organizada toda a documentação referente aos testes;
 - b) Entregar as pastas de testes de malhas completas para a contratante durante o processo de transferência dos Sistemas Operacionais.
-

4 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- a. NR-10 – Segurança em serviços de eletricidade.
- b. IEC 62382 - Electrical and Instrumentation Loop Check.
- c. IEC 62337 - Commissioning of Electrical, Instrumentation and Control Systems in the Process Industry Specific Phases and Milestones;

5 TERMINOLOGIA E SIGLAS

5.1. TERMINOLOGIA

MALHA ABERTA - É uma malha de instrumentação composta por um ou mais ramos, somente para indicação/alarme/sinalização local e/ou remota (SDCD, CLP...) e que não possui estratégia de controle associada.

MALHA FECHADA - É uma malha composta por vários ramos, podendo ter sinais para indicação/alarme/sinalização local e/ou remota (SDCD, CLP...), com entradas e saídas (analógicas e digitais), para controle, ou seja, possui realimentação.

GERADOR DE SINAIS - Dispositivo móvel, equipado com uma pequena tela, com um teclado e terminais de conexão para rede. Possui características de proteção elétrica adequadas à área de utilização (EXd, EXi, etc.), e permite a comunicação e parametrização com os instrumentos conectados a um ramo (TRUNK) da rede.

TAG – Número associado a equipamento que o descreve e o classifica.

SET-POINT - Ponto de ajuste definido para atuação do instrumento.

GERENCIADOR DE ATIVOS – Ferramenta do SDCD que proporciona parametrizar e realizar a calibração dos instrumentos de campo.

5.2. SIGLAS

DTM – *Device Type Manager*

E/S – Entradas e Saídas

FVM - Folha de Verificação de Malha;

PLC - Programador Lógico de Controle (*Programming Logic Control*);

RNC - Relatórios de Não Conformidade;

SCMD – Sistema de Controle de Monitoração Distribuído

SDCD - Sistema Digital de Controle Distribuído;

SIS - Sistema Instrumentado de Segurança;

6 CONDIÇÕES GERAIS

6.1. EQUIPE DE EXECUÇÃO

A equipe de testes de malhas de instrumentação será composta por um técnico de automação junto ao SDCCD/SIS, um técnico de Instrumentação ou um operador para acompanhamento e verificação dos testes junto ao instrumento, equipamento ou válvula.

A quantidade de equipe envolvida nos testes será definida pelo planejamento do comissionamento e estará limitada a quantidade de estação de engenharia para a execução dos testes.

6.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os instrumentos usados para os testes de malhas devem estar calibrados e possuírem os respectivos certificados de calibração.

Equipamentos a serem utilizados, de acordo com a necessidade:

- Gerador de Sinais
 - Conjunto de ferramentas;
 - Cabos, “tubing” e acessórios;
 - Equipamentos para comunicação à distância (rádios, telefones.);
 - Outros equipamentos específicos.
-

6.3. DOCUMENTAÇÃO APLICÁVEL

A equipe deve estar de posse dos respectivos documentos:

- Diagrama de malha de instrumentação
- Diagrama lógico de automação
- Folha de dados dos instrumentos
- Certificado de calibração dos instrumentos
- Lista de E/S do SDCD
- Matriz de causa e efeito
- Planta de instalação de instrumentos

6.4. PRÉ-REQUISITOS

O SDCD deve ser instalado com todas as funções necessários para a execução dos testes, como por exemplo o gerenciador de ativos. A configuração da lógica e das telas devem ser instaladas nos servidores e controladores respectivamente.

O DTM dos respectivos instrumentos devem ser instalados e as versões verificadas previamente aos testes.

A bancada de teste com as estações de engenharia deve estar montada e ligada. O teste de malhas somente pode ser efetuado após a verificação visual e mecânica das malhas de instrumentação e testes de fiação. O relatório deve ser emitido e aprovado pelo inspetor de instrumentação e automação.

Deve ser efetuado a verificação visual da malha de instrumentação e teste de fiação, considerando apenas a instalação elétrica e de sinais dos instrumentos. Os relatórios que comprovam a execução satisfatória destas atividades deverão estar disponíveis na pasta de testes com as respectivas FVM.

Antes de energizar os circuitos dos instrumentos, verificar se a instalação de alimentação está de acordo com o projeto e verificar as tensões de alimentação com o multímetro.

O planejamento dos testes de malha será realizado pela equipe de Planejamento com o apoio das equipes de Comissionamento e Construção e Montagem. A equipe de planejamento deverá emitir semanalmente uma programação com as malhas a serem testadas.

7 EXECUÇÃO DOS TESTES DE MALHAS

Os testes simulados nos sistemas visam garantir o desempenho de elementos primário de medição, controladores, elemento final de controle, PLC'S, SDCD, SCMD, SIS, indicadores local e remoto, analisadores, redes de comunicação e outros, verificando assim que os mesmos estejam de acordo com os requisitos de projeto, bem como para a detecção de eventuais problemas ocorridos na fase de montagem.

O profissional que estiver na estação de engenharia deve receber a programação dos testes e se comunicar com o técnico de instrumentação ou operação para acompanhar os testes pelo campo, próximo aos elementos da malha.

Verificar no Supervisório se a simbologia do elemento da malha está em conformidade com os critérios de configuração do sistema, se a tela de detalhes da malha será aberta corretamente, se a comunicação com os seus elementos está funcionando e se os TAG dos elementos estão corretos.

Para os instrumentos de medição ou válvulas de controle simular a variável através do gerenciador de ativos no bloco lógico de entrada ou saída do elemento da malha nos valores de entrada correspondentes a 0%, 50% e 100% da faixa de medição do instrumento. Os valores indicados na tela do supervisório devem ser registrados. Esse registro pode ser feito através de um relatório gerado pelo próprio SDCD.

Verificar range e unidade, atuação de alarmes na tela de detalhes, animação dinâmica do elemento na tela (conforme critérios de configuração do sistema) e a lista de alarmes.

Para os sinais de saída digital efetuar o comando através do Supervisório e observar a atuação do instrumento ou abertura/fechamento da válvula e registrar os valores.

Para os sinais de entrada digital o profissional que está no campo deverá atuar ou simular abertura e fechamento de contatos, somente com atuação do instrumento, chave manual ou válvula e registrar os valores indicados no Supervisório.

Após o teste da malha, nenhum elemento da malha deve sofrer intervenção por parte da equipe de construção ou comissionamento, principalmente nas ligações elétricas e de sinais. Caso isso ocorra, o teste deverá ser repetido.

Durante a execução dos testes de malhas poderão acontecer possíveis falhas, tais como: calibração, ligações invertidas, má isolamento elétrica, entre outras, as mesmas serão corrigidas por uma equipe específica com posterior realização do teste.

8 LIBERAÇÃO PARA OPERAÇÃO

Após os testes e registros, as malhas de instrumentação devem ser verificadas quanto as conexões ao processo e liberadas para a operação. Para isso deve se aplicar uma lista de verificação de itens nas malhas que estão completadas mecanicamente. A lista de verificação deve conter no mínimo os seguintes itens:

- Verificar se os sensores estão ligados aos instrumentos
- Verificar se as conexões ao processo estão feitas e devidamente apertadas
- Verificar se os instrumentos/válvulas estão devidamente suportados
- Verificar se as identificações de cabos, instrumentos e válvulas estão conforme projeto
- Verificar se os *tubings* de alimentação de ar das válvulas de controle estão devidamente ligados e apertados
- Verificar o alinhamento das válvulas de conexão ao processo
- Verificar o alinhamento das válvulas de alimentação de ar para os atuadores das válvulas de controle
- Realizar inspeção visual de pintura dos elementos da malha

Após a aplicação da lista de verificação nas malhas de instrumentação, os elementos da malha de instrumentação devem permanecer ligados eletricamente e com seus alinhamentos ao processo feitos.
