

FACULDADES DE TAQUARA
Faculdade de Informática de Taquara
Curso de Sistemas de Informação

**SISTEMA DE COLETA, AUDITORIA E APOIO À MANUTENÇÃO PREDITIVA
PARA ATUADORES ELÉTRICOS**

CARLOS HENRIQUE HENNIG

Taquara

2007

CARLOS HENRIQUE HENNIG

**SISTEMA DE COLETA, AUDITORIA E APOIO À MANUTENÇÃO PREDITIVA
PARA ATUADORES ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Sistemas de Informação da Faculdade de Informática das Faculdades de Taquara, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Sistema de Informação, sob orientação do Prof. Msc Roger Al Alam Krolow.

Taquara

2007

Dedico este trabalho a Coester Automação S/A
que me apoiou durante todo o curso e forneceu o
suporte necessário para a confecção deste TCC.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa e sempre companheira, Cristina, pelo incentivo ao reingresso na vida acadêmica, e constante apoio nesta caminhada; aos meus filhos, Cristian e Rafael, por compreenderem, na medida do possível, a importância de minha ausência; aos meus professores, por enriquecerem meu saber e, em especial, a meus amigos, que me acompanharam com dedicação durante estes longos anos.

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema de manutenção preditiva para válvulas ou outros equipamentos acionados por atuadores elétricos que visam o aumento da integridade operacional de processos. Os benefícios de detectar problemas antecipadamente são normalmente relacionados aos benefícios na redução dos custos e de tempo envolvidos em paradas não programadas. A solução se baseia na coleta dos dados dos equipamentos de campo (atuadores elétricos) através de comunicação sem fio (*Bluetooth*) que são analisados com uma ferramenta (*software*) especialmente desenvolvida para auditoria, configuração e análise das curvas de torque. A manutenção preditiva é feita através da avaliação de tendência das curvas de torque que são apresentadas de forma gráfica ao operador. Com isso é possível “prever” a necessidade de uma intervenção no equipamento ou uma modificação de parâmetros operacionais para estender sua vida útil, reduzindo de forma significativa as paradas não programadas provocadas por defeitos em válvulas.

ABSTRACT

This work presents a predictive maintenance system for valves and other equipments connected to electric actuators to increase process operational integrity. The benefits in detecting problems beforehand are normally related to benefits in cost and time reduction involved in non scheduled stops. The field equipments received data (electric actuators) through wireless communication (Bluetooth) are analyzed with a tool (software) especially developed for system audit, operational parameters configuration and torque curve analysis. The predictive maintenance is made through the torque curves tendency evaluations which are presented to the operator in graphic form. With that it's possible to foresee the need to an intervention in the equipment or operational parameters modification to extend useful life, reducing significantly the unpredicted downtime provoked by defects in valves.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1	TITULO.....	9
2	INTRODUÇÃO	9
3	ESTADO DA ARTE	10
3.1	Atuadores Elétricos	10
3.1.1	Características Estruturais Dos Atuadores	11
3.1.2	Atuadores Multivoltas	12
3.1.3	Atuadores ¼ De Volta	13
3.1.4	Dimensionamento	13
3.1.4.1	Dimensionamento de Válvulas Multivoltas	14
3.1.4.2	Dimensionamento de Válvulas ¼ De Volta	16
3.1.5	Opções De Controle De Atuadores	16
3.1.5.1	Atuador <i>On-Off</i> Para Válvulas	17
3.1.5.2	Atuador Modulante Para Válvulas De Controle	17
3.1.5.3	Atuadores Elétricos Com Comunicação Por Barramentos De Campo	18
3.2	Manutenção	19
3.2.1	Histórico	19
3.2.2	Integridade Operacional	22
3.2.3	Manutenção Corretiva	23
3.2.4	Manutenção Preventiva	24
3.2.5	Manutenção Preditiva	24
3.2.6	Manutenção Preditiva De Válvulas Com Atuadores Elétricos	25
3.3	Medição de Torque em Atuadores Elétricos	26
3.4	Coleta de Dados	29
4	DESENVOLVIMENTO	32
4.1	Requisitos Básicos	32
4.2	Metodologia	32

5	DESENVOLVIMENTO NO ATUADOR ELÉTRICO	32
5.1	Ferramentas de Desenvolvimento para o Atuador	33
5.2	Desenvolvimento do Sistema no Atuador	34
6	DESENVOLVIMENTO NO PDA	35
6.1	Ferramentas de Desenvolvimento para o PDA	36
6.2	Desenvolvimento do Sistema no PDA	37
6.2.1	<i>Workflow</i> de Requisitos	38
6.2.1.1	Descrição dos requisitos	38
6.2.1.2	Modelo de Domínio	41
6.2.1.3	Modelo de Negócio	42
6.2.1.4	Modelo de Caso de Uso	42
6.2.1.5	Protótipo de Interface com o usuário	49
6.2.1.6	Requisitos Adicionais	58
6.2.2	<i>Workflow</i> de Análise	58
6.2.2.1	Modelo de Análise	59
6.2.3	<i>Workflow</i> de Projeto	68
6.2.3.1	Modelo de Projeto	68
6.2.3.2	Modelo de Instalação	77
7	RESULTADOS	78
7.1	Previsão de novas funcionalidades	79
7.1.1	Gráfico de Tendência	79
7.1.2	Gráficos de radar	80
8	CONCLUSÃO	81
9	REFERÊNCIAS	83

1 TÍTULO

Sistema de Coleta, Auditoria e Apoio a Manutenção Preditiva para Atuadores Elétricos.

2 INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez maior em reduzir a variabilidade e as paradas não programadas nas plantas de processo tem sido um desafio para diversas organizações em função das conseqüentes perdas econômicas decorrentes desses problemas. Uma alternativa que está se desenvolvendo rapidamente é a utilização do método de manutenção preditiva, onde as paradas corretivas e preventivas podem ser reduzidas de forma considerável, reduzindo drasticamente essas perdas econômicas e aumentando a integridade operacional da planta. Assim, os serviços de manutenção estão tornando-se tecnologias competitivas para sustentar e customizar a produção de manufaturas nas indústrias de modo a satisfazer o mercado global o máximo possível. Esta transformação na manutenção permite uma avaliação completa sobre o desempenho e ciclo de vida dos equipamentos, otimiza o serviço de manutenção, minimiza e reduz os riscos, reduz os custos operacionais e aumenta a margem de lucro. Portanto, sistemas de manutenção inteligentes que apresentem detecção e diagnóstico de falhas se tornam cada vez mais importantes (HENNIG, 2005).

Assim, é natural assumir que as organizações estão interessadas em obter previsões fundamentadas de certos tipos de indicadores, especialmente acerca daqueles que possam influenciar a tomada de decisões.

Em indústrias de processo onde as válvulas são de fundamental importância e o seu mau funcionamento pode interromper a produção, danificar um equipamento ou causar um grave acidente ambiental, torna-se primordial zelar pelo seu bom funcionamento, aumentando sua vida útil e diminuindo o tempo de parada para manutenção. No caso específico de que trata este trabalho, as válvulas, por estarem inseridas em uma linha ou tubulação, não permitem a inspeção visual de seus elementos móveis e o conseqüente acompanhamento de sua vida útil sem tirá-las de operação. O atuador elétrico por estar em contato direto com a válvula se torna peça fundamental para análise e diagnose de falha e conseqüente manutenção preditiva de uma válvula.

A miniaturização e popularização da eletrônica proporcionaram incorporar ao atuador elétrico vários recursos que o tornaram um equipamento muito seguro e um grande concentrador de informações passando a ter vital importância no controle do processo.

Cada tipo de equipamento exige um sistema diferenciado de análise, no caso de atuadores elétricos, utiliza-se as curvas de torque que são registradas em cada operação de abertura ou fechamento medido através de uma célula de carga (*strain gauge*) e que possibilita verificar o esforço real necessário na movimentação de válvulas. A variação deste esforço ao longo do tempo, é resultante de uma mudança da condição de operação que pode significar a necessidade de manutenção.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Atuadores Elétricos

Nos últimos anos a preocupação com produtividade, responsabilidade social e meio ambiente tem levado a empresas como a PETROBRAS a direcionar seus investimentos para a automação de seus processos. Neste contexto se destaca o atuador elétrico como sendo um importante equipamento para automação de válvulas que possibilita a eficácia e a segurança operacional, ambiental e do trabalhador.

Conceitualmente o atuador elétrico é um dispositivo que produz movimento atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos, no local ou remotamente. Pode ser acoplado a qualquer tamanho e tipo de válvula. Sendo responsável pelo gerenciamento do torque, da posição e da velocidade, o que proporciona agilidade, confiabilidade, precisão, segurança, controle do processo, intertravamento, diagnose e alarmes.

O avanço da eletrônica proporcionou incorporar ao atuador elétrico uma unidade de processamento e controle (CPU) que monitora e controla todas as variáveis do equipamento. Além de diversificar as opções de controle não se limitando aos tradicionais acionamentos por contato seco e sinais de 4-20mA, possibilita a comunicação digital via barramentos de campo, comunicação sem fio e várias opções de configuração e armazenamento de dados de operação.

Por estes avanços, atualmente o atuador elétrico vem ganhando espaço na indústria e ocupando o lugar que antes pertencia a outros tipos de atuadores como os pneumáticos.

3.1.1 Características Estruturais Dos Atuadores

Os invólucros dos atuadores elétricos geralmente são fabricados em uma liga de ferro fundido ou alumínio. Por se tratarem de equipamentos a serem instalados em ambientes agressivos e expostos a intempéries, seu projeto prevê características que garantem vedação e operação em áreas classificadas. Neste sentido, muitos fabricantes optam por construí-los em um invólucro único. Ou seja, toda a cadeia de acionamento mecânico, motor elétrico e eletrônica embarcada em um único invólucro vedado com grau de proteção IP-68 (NBR IEC 60529, 2005).

A certificação consiste em o equipamento atender rigorosas normas construtivas que garantem que o mesmo é seguro para ser instalado em determinadas áreas. Para tanto o equipamento deve ser submetido aos testes de certificação em um órgão certificador de produto (OCP – Organismo Certificador de Produto) credenciado pelo país onde será instalado, no caso do Brasil o credenciamento é feito pelo INMETRO.

Como em muitos casos os atuadores são responsáveis pelo acionamento de válvulas importantes ao processo, a preocupação com a sua confiabilidade e segurança é permanente. É padrão em atuadores elétricos a utilização de volante para acionamento manual, pois permite a movimentação da válvula em caso de falta de energia. Também pelo fato de a válvula estar instalada na linha, sem a possibilidade de inspeção visual, é vital para a segurança do processo o atuador possuir um indicador mecânico de posição, mesmo que possua indicação digital, pois esse independe de uma fonte de energia, o que no caso de falha na alimentação poderia deixar o operador sem indicação da posição da válvula.

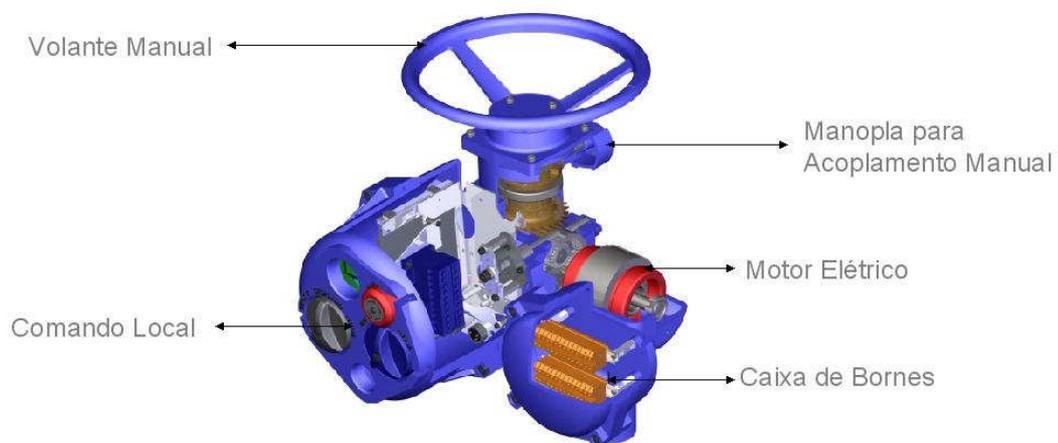


Figura 1: Atuador elétrico em corte

Basicamente o atuador é composto por um motor elétrico agregado a um conjunto de engrenagens que proporcionam a multiplicação do torque e o ajuste da velocidade conforme Figura 1. Os atuadores são divididos em dois grandes grupos, dependendo do tipo de válvula: $\frac{1}{4}$ de volta e multivoltas. Existem ainda aplicações especiais como no caso de válvulas “multivias” que são válvulas com uma entrada e várias saídas dispostas em ângulos diferentes, neste caso, o atuador é basicamente do tipo multivoltas, mas deve poder assumir os ângulos precisos das saídas pré-programadas.

3.1.2 Atuadores Multivoltas

São aplicáveis a dispositivos onde para cada manobra de abertura ou fechamento são necessárias várias revoluções da haste de acionamento. Esta é uma característica típica das válvulas lineares como: gaveta, globo, comporta, guilhotina, choke, entre outras. E são divididos em dois grupos: haste ascendente e haste fixa (Figura 2).



Figura 2: Atuador elétrico instalado em válvula gaveta

3.1.3 Atuadores ¼ De Volta

Os atuadores ¼ de volta são aplicáveis à dispositivos onde para cada manobra completa de abertura ou fechamento é necessária a rotação do eixo em cerca de 90°. São próprios para acionar válvulas ou dispositivos rotativos como damper, válvulas borboleta, esfera, entre outros (Figura 3).



Figura 3: Atuador elétrico instalado em válvula borboleta

3.1.4 Dimensionamento

Para o bom funcionamento do conjunto atuador x válvula é crucial o correto dimensionamento do mesmo. Neste ponto o torque é um item fundamental e o atuador deve ser dimensionado com base no valor exato da carga a qual será submetido em uma aplicação específica. Devendo ser suficientemente dimensionado para acionar o dispositivo (válvula, damper, entre outros), mas não deve ser superdimensionado a ponto de prejudicar os componentes mecânicos do próprio atuador ou da válvula acionada.

Outro ponto importante no dimensionamento é a velocidade de operação da válvula, pois se for alta poderá gerar o Golpe de Aríete (SILVESTRE, 1988) na tubulação e danificá-la. Por outro lado, se for baixa, pode comprometer o processo.

Em um sistema de transmissão de torque quanto menor a rotação (velocidade) do eixo de saída do atuador, maior será o torque e melhor será a precisão. Assim para aplicações onde se deseja alto torque ou grande precisão se seleciona atuadores com baixa rotação de saída. A relação velocidade x torque determinará a potência de acionamento e quanto maior a potência, tanto mais crítico será o dimensionamento.

3.1.4.1 Dimensionamento de Válvulas Multivoltas

Dados indispensáveis:

- a) bitola da válvula e classe de pressão;
- b) diâmetro e passo da haste;
- c) curso da haste da válvula;
- d) diferencial de pressão máximo a que estará submetida a válvula durante qualquer uma das fases de operação;
- e) tempo de acionamento ou velocidade desejada.

Dados importantes a serem considerados:

- a) o diferencial máximo de pressão, para efeito de cálculo não deve ser inferior a 5kgf/cm².
- b) a velocidade de operação pode variar de acordo com as necessidades do usuário, em media ela é de 8 a 10 polegadas por minuto para válvulas de até 14" de diâmetro e de 10 a 12 polegadas por minuto para válvulas acima de 14" de diâmetro.

A seleção do atuador se dá a partir do torque de acionamento da válvula que normalmente é fornecido pelo fabricante. Caso o mesmo não seja fornecido pode ser calculado da seguinte forma:

Cálculo do empuxo da haste da válvula

$$E = \frac{A \times Fv \times \Delta p}{1000(KN)}$$

Onde:

A = Area de passagem (mm²)

Fv = Fator de Válvula (cte. que varia de 0,3 a 0,4)

* normalmente se utiliza 0,35

Δp = Diferencial máximo de pressão na abertura ou fechamento (MPa)

* 1 MPa = 10,19 Kpf/cm²

FPG = Força preme-gaxeta

Cálculo de torque de Acionamento da Válvula

$$T = E \times K$$

Onde:

T = Torque de acionamento da válvula (Nm)

E = Empuxo (Kn)

K = Fator que varia de acordo com o diâmetro da haste,
o numero de entradas e o passo da rosca

Cálculo da Velocidade da Haste

Para o cálculo da velocidade de acionamento leva-se em conta o tempo requerido para abertura / fechamento.

$$V = \frac{c}{t}$$

Onde:

V = Velocidade da haste (mm/s)

c = Curso da haste (mm)

t = Tempo requerido (s)

Cálculo da Rotação de Saída

O cálculo da rotação requerida na manga de saída do atuador é a partir da velocidade da haste, do passo da rosca e do número de entradas.

$$R = \frac{V \times 60}{P \times Z}$$

Onde:

R = Rotação de saída (RPM)

V = Velocidade da haste (mm/s)

P = Passo da rosca (mm)

Z = Numero de Entradas

A atenção quanto ao tempo de abertura / fechamento é importante, pois disto também depende a vida útil do conjunto atuador / válvula. A inércia da haste / obturador pode causar desgaste acentuado na sede se a velocidade for excessivamente elevada.

3.1.4.2 Dimensionamento de Válvulas ¼ De Volta

Dados Indispensáveis:

- a) bitola da válvula;
- b) classe de pressão;
- c) diâmetro da haste;
- d) tipo de sede (soft ou metal-metal);
- e) curso angular;
- f) tempo requerido p/ fechamento/abertura;
- g) torque de acionamento.

O dimensionamento destes atuadores é mais simples do que o dimensionamento para válvulas ascendentes, contudo deve-se considerar no cálculo que os torques de acionamento são extremamente altos, principalmente para sedes metal / metal.

O dado fundamental no dimensionamento é o conjugado de acionamento e máximo da válvula, a partir dos mesmos é que se seleciona o atuador.

O conjugado de acionamento da válvula no caso da válvula rotativa sempre deve ser fornecido pelo fabricante, já que há diferenças significativas de fabricante para fabricante.

Outro fator a ser considerado é se a válvula possui ou não um redutor incorporado. Neste caso o atuador deverá ser multivoltas razão pela qual se utiliza o mesmo modelo dos atuadores usados na motorização de válvulas de haste ascendente.

3.1.5 Opções De Controle De Atuadores

O atuador elétrico com a miniaturização e popularização da eletrônica incorporou vários recursos que o tornaram um equipamento muito seguro e um grande concentrador de informações passando a ter grande importância para o controle do processo. Tanto que a sua utilização vem crescendo muito, principalmente em plantas que requerem segurança como as indústrias de petróleo e gás e a indústria nuclear.

O atuador elétrico pode ser acionado e disponibilizar seu “status” de diversas formas:

- a) através da duplicação de contatos de abertura, fechamento, parada e outros são enviados através de tensão, e o status de aberto, fechado, alarmes e outros da mesma forma;
- b) acionamento de um sinal de corrente para posicionamento, onde o atuador recebe um sinal proporcional de 4 a 20mA em que 4mA indica totalmente fechado e 20mA totalmente aberto. O atuador por sua vez envia um sinal de retorno de mesmo tipo indicando sua posição atual;
- c) através de barramentos de campo onde por um par de fios, um controlador se comunica com o atuador enviando comandos e recebendo além de “status” e alarmes, seus dados coletados durante a operação.

3.1.5.1 Atuador *On-Off* Para Válvulas

O atuador *On-Off* é para aplicações onde a válvula opera normalmente totalmente aberta ou totalmente fechada. Pode ter paradas intermediárias mas não é indicado para controle.

3.1.5.2 Atuador Modulante Para Válvulas De Controle

O atuador modulante é para válvulas de controle e são equipamentos que recebem o *set-point* (posição desejada) por sinal de 4-20mA e informam a sua posição atual também por sinal de 4-20mA.

Quando se dimensiona um atuador para uma aplicação de controle além das informações já citadas para dimensionamento de atuadores é importante saber qual será o regime de operação destes equipamentos por hora, ou seja uma estimativa de quantas paradas e partidas em determinado tempo. Esta informação é muito importante pois dependendo do regime de operação o atuador deverá dispor de um dispositivo que garanta a partida e a frenagem mais suaves. Isso garantirá uma vida útil maior ao equipamento e melhorará sua precisão.

3.1.5.3 Atuadores Elétricos Com Comunicação Por Barramentos De Campo

Com o crescimento das instalações industriais gerou-se um emaranhado de fios nos sistemas de controle o que dificultava a localização de problemas, a manutenção, o monitoramento e diagnose. Assim no final da década de 70 foram introduzidas algumas soluções de barramentos de campos. Porém somente por volta de 1985 é que os barramentos de campo surgiram com força na indústria. Sendo que no início dos anos 90 foram introduzidas muitas tecnologias novas. Tendo mais de 200 diferentes barramentos promovidos por diferentes fabricantes e organizações (ERIKSSON et al, 2006).

Inicialmente fabricantes concorrentes não planejavam utilizar o mesmo tipo de tecnologia e cada um desenvolvia a sua. Assim, muitas tecnologias não evoluíram, porém a base instalada deve ser mantida por muitos anos.

O barramento de campo consiste em vários equipamentos conectados a um mesmo barramento com comunicação serial.

Este conceito de comunicação de equipamentos possibilita a simplificação da fiação e conseqüente eliminação de erros de ligação e as modificações de equipamentos se tornam rápidas e fáceis. Isto permite maior flexibilidade nas instalações e facilita a supervisão de sistemas complexos, uma vez que pelo barramento de campo é possível transmitir mais informações sem ser necessário alterar o meio físico. Este tipo de comunicação permite facilidade no diagnóstico de sistemas e sua monitoração. Apresenta também redução significativa nos custos de instalação e manutenção.

Estes atuadores podem ser tanto *on-off* como para controle e possibilitam a configuração eletrônica via barramento de campo, auto-diagnose, medição de torque real e dinâmico, histórico de operações, intertravamento com demais equipamentos, além de leituras de *status* e alarmes, conforme segue:

Alarmes e informações

- a) modo de operação (local / remoto);
- b) indicação de posição;
- c) medição de posição instantânea;
- d) atuador em movimento;
- e) operação manual;
- f) torque instantâneo;
- g) sobreaquecimento do motor;
- h) temperatura interna;

- i) calendário;
- j) tempo de acionamento;
- k) parada por sobretorque;
- l) detecção de válvula travada;
- m) falta de fase.

3.2 Manutenção

3.2.1 Histórico

Durante a revolução industrial, as atividades de manutenção e os recursos destinados a novos projetos de recuperação de falhas nos equipamentos eram praticamente inexistentes ou ficavam em segundo plano. Naquela época, a indústria era predominantemente artesanal e havia pouca preocupação com a produtividade que não era considerada relevante, não se creditando qualquer importância à prevenção das falhas. A estratégia de manutenção consistia de um simples conserto após a avaria. Ao mesmo tempo, a maioria dos equipamentos eram simples e muitos deles bem dimensionados, apresentando facilidade de reparo e alguma confiabilidade. Nesse panorama, não havia necessidade de manutenção sistematizada, nem de pessoal especializado para a sua execução. Contudo, esse contexto se modifica com o aumento da mecanização ocorrida durante o início do século XX.

A partir da década de 50, as indústrias passaram a depender cada vez mais das máquinas, que começaram a se multiplicar e modificar em tipo e complexidade. Deste modo, prevenir uma eventual paralisação das máquinas tornou-se cada vez mais relevante.

Nos anos 60, a manutenção consistia de revisões gerais dos equipamentos executados em intervalos pré-determinados. Nesse período, começou a ser estruturado o conceito de manutenção preventiva, de acordo com Nunes (2001).

No início da década de 70, a quantidade de capital investido em reparos e o custo do próprio capital direcionaram as ações para o aumento da vida útil dos equipamentos e das instalações. Preocupação que se transformou na base para o desenvolvimento de novas técnicas de manutenção, nesta época, suportadas por computadores de grande porte. A partir de então, a necessidade das máquinas operarem continuamente sem falhas é cada vez maior e qualquer interrupção devido às falhas passou a tomar proporções críticas.

Essa evolução histórica da manutenção pode ser dividida de modo simplificado em três gerações distintas. A primeira geração apresentava uma maior ênfase no conserto dos

equipamentos após a ocorrência de falhas. A segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operacional e a vida útil dos equipamentos a custos menores. Já a terceira geração, que se refere aos tempos atuais, diz respeito ao cumprimento de certos requisitos característicos, tais como: maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio-ambiente e ações de manutenções mais eficazes, aliados a redução dos custos envolvidos.

Atualmente, as grandes transformações experimentadas pelo setor tecnológico e industrial permitem um diagnóstico e análise muito maior das origens das falhas e dos efeitos provocados por períodos de paralisação da produção. Aliado a isso, a complexidade cada vez maior dos equipamentos, com a aceleração da automação, transformou a confiabilidade e a disponibilidade em fatores primordiais para um bom desempenho operacional. Esses fatores influenciaram diretamente as atividades de manutenção atuais.

Hoje em dia, a globalização da economia ampliou a concorrência entre as organizações. Assim, é natural assumir que as organizações estão interessadas em obter previsões fundamentadas de certos tipos de indicadores, especialmente acerca daqueles que possam influenciar a tomada de decisões.

Os padrões de qualidade, tanto nos serviços quanto nos produtos, passaram a ser mais rigorosos e a análise das falhas e de suas conseqüências para a segurança e o meio-ambiente, representam, em muitos casos, a garantia de sobrevivência das empresas, tamanha a vigilância e cobrança da sociedade. Neste sentido, o aspecto econômico, sempre presente na vida das organizações, passa ainda a ser mais importante, considerando-se o compromisso com o retorno do capital investido, com montantes cada vez maiores e recursos mais escassos.

Deste modo, um novo modelo de negócios implementado graças ao aumento de confiança das máquinas e nos serviços de alta qualidade está emergindo. Esta revolução está sendo dirigida pela renovação tecnológica baseada na Internet e nos métodos de predição (LEE et al., 2004).

Os serviços de manutenção estão tornando-se tecnologias competitivas para sustentar e customizar a produção de manufaturas nas indústrias de modo a satisfazer o mercado global o máximo possível (DJURDJANOVIC et al., 2003).

Esta transformação na manutenção permite uma avaliação completa sobre o desempenho e ciclo de vida dos equipamentos, otimiza o serviço de manutenção, minimiza e reduz os riscos, reduz os custos operacionais e aumenta a margem de lucro, como apontado por DJURDJANOVIC; LEE; NI, (2003).

Em linhas gerais, dentre os fatores que transformaram as áreas de manutenção em um segmento estratégico, pode-se citar:

- a) a evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção;
- b) a necessidade de um controle cada vez mais eficiente;
- c) o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão;
- d) o avanço de estudos relativos ao desgaste das peças e suas conseqüências.

Deste modo, atualmente as tecnologias de manutenção estão sendo desenvolvidas para identificar as possíveis falhas, além de gerenciar suas conseqüências, com técnicas economicamente adequadas a serem aplicadas em cada situação específica. Sistemas de planejamento e controle foram desenvolvidos em conjunto sendo utilizados para obter-se um melhor controle das ações de manutenção, indispensável para uma boa eficácia de um processo de manutenção. Os sistemas informatizados e, posteriormente, os sistemas embarcados, ampliaram ainda mais o desempenho dos dispositivos de manutenção.

É sabido que eventuais falhas em componentes de um sistema dinâmico inserido no processo industrial podem acarretar perdas de desempenho inaceitáveis, bem como colocar em risco os equipamentos e pessoal envolvido.

Aliado a isto, as paradas súbitas e inesperadas, provocadas por falhas, geralmente custam mais caro do que paradas planejadas. Assim, descobrir falhas e prevenir os equipamentos de forma que os fracassos catastróficos e tempo de manutenção de uma máquina possam ser reduzidos ao mínimo, ou ainda manter um alto nível de confiança e disponibilidade, com o intuito de reduzir o número de falhas e prevenir paradas súbitas e inesperadas, tornou-se imprescindível. Portanto, sistemas de manutenção inteligentes que apresentem uma detecção e diagnóstico de falhas se tornam cada vez mais importantes (TINÓS,1999).

De acordo com a ocorrência ou não de uma falha / defeito, a manutenção pode ser dividida em três estratégias distintas: preditiva, preventiva e corretiva. A manutenção corretiva é realizada nas situações onde o equipamento já está danificado. A manutenção preventiva é realizada nos casos de defeito, onde as máquinas ainda estão em funcionamento. Por fim, a manutenção preditiva ocorre quando se aplica uma supervisão e controle contínuo dos equipamentos. O uso de ferramentas de manutenção preditiva, em especial, com a intenção de antecipar falhas e sinalizar o momento adequado de se realizar um serviço de manutenção tem aumentado, conforme JINHUA; ERLAND, (2002).

Quando métodos de raciocínio utilizados pelo ser humano foram modelados e implementados no computador através do uso da inteligência artificial em conjunto com

ferramentas de processamento de sinais, ocorreu uma expansão destas tecnologias para a manutenção, tornando-a mais inteligente.

O processamento de sinais compreende a análise de sinais de modo a capturar informações destes e torná-los mais adequados a alguma aplicação. Dentre as principais técnicas de processamento de sinais, cita-se a transformada de Fourier e a transformada Wavelet. Estas técnicas podem ser utilizadas, por exemplo, na decomposição do sinal de sensores, instalados em máquinas, no domínio tempo e frequência, localizando o espectro de energia destes sinais (PARRAGA, 2002).

A inteligência artificial preocupa-se em desvendar a natureza do raciocínio humano como intuito de elaborá-lo no computador provendo, assim, uma certa capacidade de aprendizado e de auto-ajuste (COELHO, 2001). Como exemplo de ferramentas de inteligência artificial, cita-se: as Redes Neurais Artificiais, a Lógica Nebulosa e as Cadeias de Markov. Os sistemas que utilizam estas ferramentas requerem, basicamente, sensores instalados e um acesso aos sinais gerados por estes, que aliados a aplicativos e simuladores, permitem a análise e previsão de eventos anteriormente operados por estimativas.

Estas ferramentas proporcionam uma economia sobre os ativos, otimizam a manutenção, melhoram a produção e qualidade de produtos, prolongam a vida útil de equipamentos e instalações, e, principalmente, evitam paradas não atendidas e desastres. Principalmente porque o custo de uma simples parada não atendida que perdure por certo intervalo de tempo, pode comprometer o perfil de produção e/ou atendimento além de superar inúmeras vezes o custo de projeto e instalação de novos meios de controle e comando.

3.2.2 Integridade Operacional

Integridade operacional consiste em manter em operação todo um processo, evitando qualquer tipo de parada. Entre estas, estão as paradas não programadas ocasionadas na maioria das vezes por defeitos nos equipamentos ou por paradas programadas para manutenção.

Os equipamentos ou processos industriais, à medida que são utilizados, ficam sujeitos a vários tipos de degradação: desgaste, sujeira, corrosão, rachaduras, e outras anomalias. Caso não sejam tomadas algumas medidas corretivas com a intenção de restaurar estes equipamentos, os mesmos começarão a apresentar algum defeito. Permanecendo o defeito, não sendo realizada nenhuma ação corretiva, o equipamento ou processo poderá falhar, ficando indisponível para desempenhar sua função.

Se forem discutidas as perdas econômicas no contexto de uma refinaria de petróleo, medidos os desgastes e controlados os equipamentos de forma adequada, podem-se reduzir as paradas que atualmente ocorrem anualmente para um período previsto de três anos. Como uma parada típica tem duração entre duas semanas a um mês, e consome praticamente 10% do tempo total de operação, um valor econômico poderia ser atribuído ao tempo de parada. Mas aumentar o intervalo entre as paradas para a redução dos valores gastos na manutenção, não é a meta a ser perseguida. Isto deve ser visto sob a ótica da estratégia do negócio como um todo e sua rentabilidade. Sendo, neste caso, o aumento do tempo total de disponibilidade do processo (produtividade) e conseqüente redução de custos (HENNIG, 2005).

A manutenção consiste de uma série de medidas de *prevenção* (para manter o equipamento em funcionamento), *correção* (com o intuito de restabelecer o equipamento danificado), e *predição* (visando reduzir a probabilidade de falhas e degradação de componentes) praticadas com a intenção de corrigir os danos provocados pela degradação e manter os equipamentos em funcionamento.

Como visto anteriormente, as paradas não programadas são ocasionadas na maioria das vezes por defeitos nos equipamentos do processo. É necessário então reduzir os defeitos para aumentar a disponibilidade.

Para fazer frente aos defeitos podem-se adotar três estratégias de manutenção descritas a seguir.

3.2.3 Manutenção Corretiva

A manutenção é reativa, ou seja, é a reação ao defeito já ocorrido com a substituição ou ação corretiva no equipamento danificado. Nesse tipo de manutenção, nada é feito para evitar que um defeito possa ocorrer seja ele por desgaste ou quebra. O defeito é sempre uma “surpresa”. Qualquer tipo de intervenção só é feito depois que o equipamento apresentou o defeito.

Este método necessita de uma equipe de manutenção treinada nos equipamentos e a disponibilidade de peças de reposição, acarretando elevados custos de treinamento de pessoal interno, estoque de peças de reposição e seu controle.

3.2.4 Manutenção Preventiva

Aquela em que, baseado no histórico de ocorrências, cálculos de MTBF (tempo médio entre falhas) dos diversos componentes e conhecimento do projeto do produto por parte do fabricante, este último recomenda uma série de ações de manutenção em intervalos pré-definidos que podem ser de tempo de operação ou outra variável de utilização do produto. Por exemplo: as revisões de manutenção de um veículo ou troca de óleo do automóvel sempre que uma certa distância em quilômetros seja percorrida.

Apesar de prevenir os defeitos acarretados por desgastes naturais do equipamento, este método exige paradas escalonadas e ações de manutenção nem sempre necessárias aumentando seu custo. Por exemplo, se pudesse medir o desgaste de uma determinada peça, a substituiria apenas quando esta estiver deteriorada ao invés de fazê-lo de maneira rotineira de acordo com a tabela de manutenção. Isso permitiria ganhos de mão de obra e material de manutenção. Apesar de parecerem pequenos quando vistos de maneira pontual, os ganhos seriam significantes quando calculados com base na totalidade dos equipamentos em uma planta de processo.

3.2.5 Manutenção Preditiva

Aquela que é baseada na condição real do equipamento, ou seja, baseado em evidências que são determinadas por sensores no próprio equipamento e que alertam para a necessidade de alguma manutenção.

Defeitos dificilmente ocorrem de maneira isolada sem que antes o equipamento demonstre alguma modificação em seu modo operacional (algum sintoma). Neste enfoque pode-se citar: ruído, desgaste, trinca em alguma peça, alteração de temperatura, enfim, alguma anormalidade que muitas vezes não é perceptível sem o auxílio de sensores específicos. Se os sintomas forem acompanhados, pode-se prever a maioria dos defeitos antes que eles ocorram e, na maioria das vezes, prever-se com certa precisão quanto tempo ainda resta até que o problema se manifeste de forma definitiva ou até que o equipamento trabalhe de forma degradada.

A questão então é escolher alguma variável que possa indicar o estado operacional do equipamento e monitorar seus desvios e, com base nestes dados e desvios, relacionar os valores obtidos com a condição funcional do equipamento.

Equipamentos mecânicos sofrem desgastes. Se pudermos manter estas variáveis sob controle (e isto é possível com o avanço dos sensores e sistemas de diagnóstico embutidos na maioria dos instrumentos modernos), tem-se a condição básica para um sistema de manutenção preditiva onde pode-se antever quando é necessária uma manutenção ou até modificar o fluxo do processo, para aliviar a carga em determinado segmento onde um dos equipamentos esta com a capacidade degradada. Isso é importante porque pode retardar a necessidade de parada para uma manutenção mais efetiva em um conjunto de equipamentos que alcançou seu ponto crítico de operação.

Este método de manutenção é o de melhor relação custo / benefício, pois exige manutenção apenas quando necessária e pode ser prevista com certa precisão, com isso escalona-se a mão de obra especializada e o material necessário que pode ser contratado para determinado período, reduzindo os custos com treinamentos de pessoal interno e peças de reposição.

Como a manutenção preditiva é baseada em informações do equipamento, estes devem ser coletados de alguma forma para que este método possa ser utilizado.

3.2.6 Manutenção Preditiva De Válvulas Com Atuadores Elétricos

As válvulas, por estarem inseridas na linha, impossibilitam a inspeção visual de seus elementos móveis, e o conseqüente acompanhamento de sua vida útil sem tirá-las de operação. Em indústrias de processo onde as válvulas são de fundamental importância e o seu mau funcionamento pode parar a produção, danificar um equipamento ou causar um grave acidente ambiental torna-se de fundamental importância zelar pelo seu bom funcionamento, aumentando sua vida útil e diminuindo o tempo de parada para manutenção.

Tradicionalmente se trabalha com dois tipos de manutenção para válvulas, a corretiva e a preventiva. Porém estes dois tipos de manutenção se mostram pouco eficientes quando se trata de um processo contínuo como exposto anteriormente pois geram paradas na produção. Sendo que no caso da manutenção preventiva, nem sempre a válvula está com problema e poderia continuar operando. Desta forma o conceito de manutenção preditiva é mais adequado, pois consiste em monitorar as variáveis de operação da válvula e, quando detectado um indicativo de falha futura, programar a sua manutenção. Garantindo, dessa forma, que a válvula somente será parada no momento em que realmente necessite de algum reparo e antes que o problema ocorra, o que permite a programação da parada.

O atuador elétrico, por estar em contato direto com a válvula, se torna peça fundamental para análise e diagnose de falha e conseqüente manutenção preditiva.

O atuador possui internamente uma célula de carga que é uma peça metálica projetada para sofrer deformação elástica conforme o esforço feito pelo atuador para acionar a válvula. Nos pontos onde há esta deformação são colados *strain gages* que transformam a deformação mecânica em sinal elétrico que é transmitido para a placa CPU do atuador. Com esta informação é possível medir o torque real exigido do atuador durante todo o período de acionamento da válvula. Esta informação é mostrada no display do equipamento para acompanhamento do operador e fica armazenada em memória não volátil. Assim, por software, é possível levantar e analisar a curva de torque do atuador ao longo do tempo.

3.3 Medição de Torque em Atuadores Elétricos

A grandeza fundamental no acionamento de válvulas é o esforço executado pelo atuador elétrico para movimentá-la. Este esforço é de torção e, portanto, chamado de torque de acionamento. No atuador elétrico podem ser utilizadas varias formas de medição. Algumas com resolução analógica e outras com resolução discreta (ver Figura 4). Neste último, pode-se citar a utilização de molas do tipo helicoidal ou prato que são calibradas para acionar uma chave a um determinado torque. Esta solução é utilizada para proteção do equipamento no caso de alguma falha ou obstrução da válvula. Para uma medição contínua de torque, as soluções adotadas são as seguintes:

- a) células de carga baseadas na tecnologia de Strain Gauge (extensiometria) que mudam a resistência proporcionalmente a deformação submetida.
- b) Medição da corrente do motor que é proporcional ao esforço
- c) Utilização de sensores piezo-elétricos que geram uma tensão quando submetidas a um esforço de compressão.

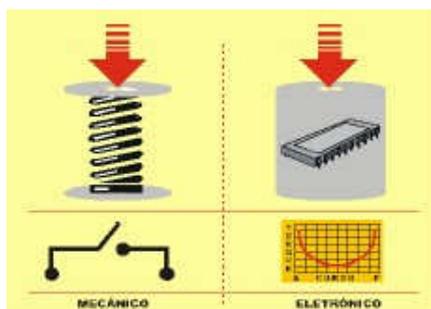


Figura 4: Medição Discreta x Medição Contínua

O atuador elétrico que usado neste desenvolvimento utiliza a tecnologia de *Strain Gauge* (ver Figura 5).

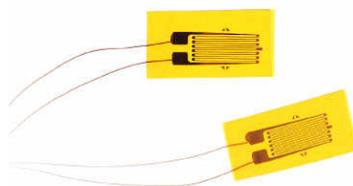


Figura 5: Strain Gauges

A tecnologia de medição de torque pela corrente do motor não permite a medição após o desligamento do motor. Em uma condição de desligamento por torque, com a inércia do conjunto mecânico o torque continua aumentando mesmo após o desligamento do motor. Também é necessária uma calibração do conjunto mecânico com o motor, pois as características do motor variam. Outro ponto desfavorável é a necessidade de correção da curva, pois a leitura não é linear. Mesmo assim é a tecnologia utilizada atualmente pelo maior fabricante internacional que é a empresa inglesa Rotork (ROTORK, 2007).

A utilização de sensores piezo-elétricos ou *Strain Gauges* depende apenas do domínio da tecnologia pelo fabricante já que os resultados e custos do sensor são equivalentes. A Coester optou pela célula de carga – Figura 6, pois a tecnologia está disponível através de grupos de pesquisa na UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e na UNISINOS (Universidade Vale dos Sinos).



Figura 6: Célula de Carga com 4 Strain Gauges Montados

A Coester realizou uma parceria tecnológica com o Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS com o objetivo de desenvolver a célula de carga, sendo a tecnologia necessária para o desenvolvimento do novo produto dominada pelo Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS, mas ainda não havia sido aplicada para essa finalidade. Tal

tecnologia aplicada em atuadores elétricos foi patenteada pela Coester na patente PI 9801240 (Tecnologia & Inovação para a indústria - 1999).

Para uma medição de torque efetiva, os valores medidos pelo sensor devem ser convertidos para uma unidade de engenharia, neste caso Newton/metro (Nm). Esta conversão é feita pela placa de controle do atuador elétrico dotada de um microcontrolador Intel 80c196 e amplificadores de instrumentação com ganhos na ordem de milhares de vezes. O valor já amplificado que chega ao conversor analógico digital (A/D) do microcontrolador é entre 0 a 5 VCC. O conversor A/D de 12 bits faz uma conversão a cada 100ms e filtra pelo método de médias excluindo os valores de máxima e de mínima. Na figura 7 é apresentado o diagrama de blocos da placa de controle do atuador elétrico e na figura 8 a foto da placa controladora (CPU).

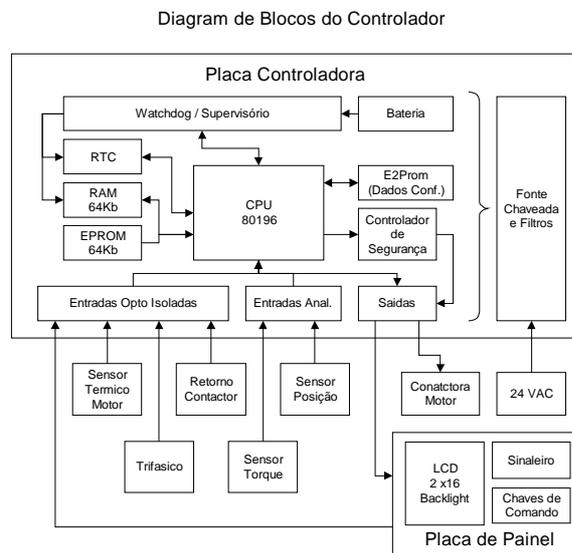


Figura 7: Diagrama de Blocos da Placa Controladora do Atuador



Figura 8: Foto da Placa Controladora (CPU)

Durante a operação do atuador, movimento de abertura e fechamento, os valores de torque máximos em trechos de 5% de movimento são capturados e guardados em uma estrutura de dados interna com os últimos 500 movimentos. Com base na transferência destes

valores e outros eventos capturados durante a operação do atuador é que foi feito o desenvolvimento deste trabalho.

3.4 Coleta de Dados

Para a coleta de dados, pode-se utilizar os barramentos de campo ou redes industriais utilizados para comunicação de controle, mas, na maioria dos protocolos, a troca de informações é feita em blocos com tamanhos pré-fixados. Isso exige que os dados que devem ser enviados ou recebidos de forma contínua têm que fazer parte do pacote, mesmo que não tenham um significado válido a cada troca de pacotes.

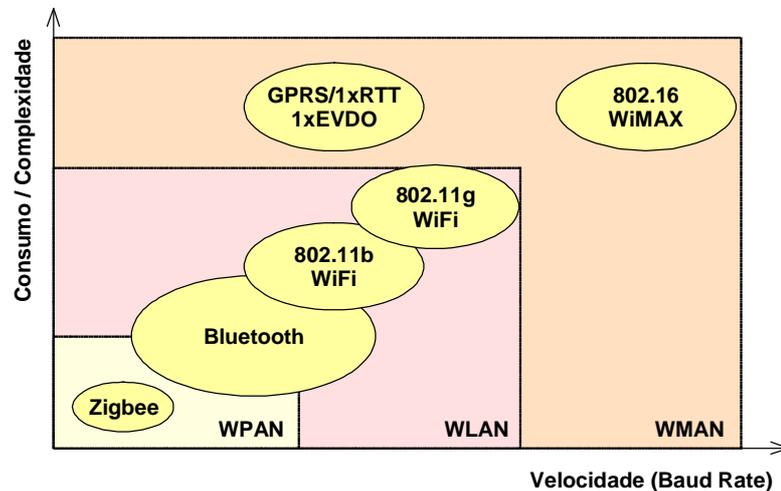
Como a quantidade de dados de manutenção é muito maior em relação aos dados necessários ao controle de um sistema, se os primeiros fossem enviados pela rede como dado de E/S (Entrada / Saída), tem-se dois impactos diretos:

- a) A quantidade de memória necessária no CLP (Controlador Lógico Programável) para poder receber os dados de manutenção de cada elemento da rede tornaria a maioria das aplicações impossíveis.
- b) O tráfego da rede seria basicamente de dados de manutenção, diminuindo consideravelmente o desempenho da rede com relação ao controle que é a parte crítica do processo e exige reação a tempo pré-determinado. (HENNIG – 2005).

Segundo os dados de venda da COESTER, as redes industriais ainda não são difundidas a tal ponto que possam cobrir a operação da maioria dos atuadores vendidos atualmente. Somente nos últimos cinco anos é que as redes industriais têm sido mais utilizadas e principalmente no segmento de Petróleo e Gás. A operação na área de saneamento, que é outro grande mercado dos atuadores elétricos, continua utilizando o método tradicional de controle por duplicação de contatos, ou seja, não utilizam as vantagens já tão consagradas das redes industriais.

Com o exposto acima, uma comunicação ponto a ponto com o atuador através de um equipamento que possa ser levado ao campo passa a ser uma solução. Como comunicação, neste tipo de arquitetura, só é possível optar por tecnologias sem fio, já que a abertura do invólucro do atuador no campo é proibida devido à operação em área classificada que são aquelas que possuem algum risco de explosão. Baseado neste tipo de tecnologia encontra-se, com larga utilização, a comunicação por Infravermelho com o padrão IrDA (*Infrared Data Association*) (IrDA, 2007) e por rádio com diversos padrões estabelecidos.

A comunicação via IrDA, exige que o coletor e o atuador estejam alinhados para a transmissão e recepção dos dados. Esta prerrogativa nem sempre é possível nas instalações onde o atuador se encontra em uma posição de difícil acesso. Sendo assim a opção por uma tecnologia de comunicação sem fio via rádio passa a ser a alternativa mais viável.



Quadro 1: Comparativo das Tecnologias de Radio Padronizadas

Nome da tecnologia	GPRS/GSM	Wi-Fi™ 802.11b, g	Bluetooth™ 802.15.1	ZigBee™ 802.15.4
Foco da aplicação	Wide Area Voz & Dados	Web, Email, Video	Multimídia a curtas distâncias	Monitoramento e controle
Recursos necessários do sistema	16MB+	1MB+	250KB+	4KB - 32KB
Duração da Bateria-dias	1 - 7	0,5 - 5	1 - 7	100 - 1000
Custo da interface	US\$100,00 ou mais	Menos de US\$100,00	Menos de US\$50,00	Menos de US\$30,00
Banda (Kbits/s)	64 - 128+	11.000 54.000	720	20 - 250
Alcance (metros)	1.000+	~ 100	~ 10	~ 50
Destques	Abrangência	Velocidade	Custo e conveniência	Confiabilidade, consumo de energia e custo

Quadro 2: Comparativo das Tecnologias de Radio Padronizadas

Avaliando o quadro 1 e quadro 2 com o comparativo das tecnologias de comunicação via rádio disponíveis, tem-se basicamente duas opções que poderiam ser integradas ao atuador elétrico, o Zigbee e o Bluetooth. As outras tecnologias apresentadas no quadro além de consumirem muita energia, são tecnologias adequadas ao alto tráfego de dados e para cobrir grandes distâncias, que não é o caso desta aplicação. Com relação ao Zigbee, apesar de ser uma tecnologia desenvolvida especificamente para aplicações industriais, ainda não existem equipamentos comerciais que utilizem esta tecnologia e que possam ser comprados e

utilizados pelos usuários. Desta maneira, a solução Bluetooth que atualmente é difundida em diversos tipos de equipamentos e que é de fácil integração ao hardware do atuador é a melhor alternativa.

Pode-se citar as seguintes vantagens e desvantagens do Bluetooth na utilização para coleta de dados (BLUETOOTH, 2007):

Vantagens:

- a) Solução de baixo custo para redes de curto alcance;
- b) É cada vez maior a quantidade de dispositivos com chips Bluetooth;
- c) Suporta comunicação tanto por voz quanto por dados;
- d) Pode ser facilmente integrada aos protocolos de comunicação, como o TCP/IP

Desvantagens:

- a) O número máximo de dispositivos é pequeno
- b) Alcance curto.

As desvantagens citadas não prejudicam a aplicação pretendida já que o número de dispositivos a comunicar é de apenas 1 (ponto a ponto) e o alcance necessário é de até 3 metros, muito inferior aos 10 metros especificados pela norma do Bluetooth.

No nível de aplicação da camada OSI, por questões de padronização do firmware do atuador, utiliza-se o protocolo Modbus-RTU que já está implementado (MODBUS, 2007). Desta forma, a figura 11 mostra um comparativo entre as camadas OSI, e as especificadas pelo Bluetooth.

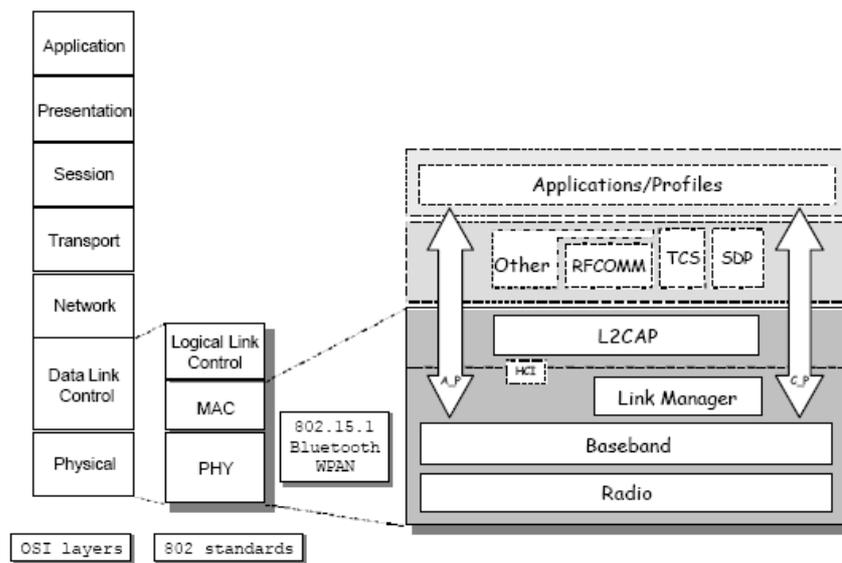


Figura 11: Relação entre as camadas OSI, IEEE 802 e a pilha Bluetooth (BISDIKIAN, 2001).

4 DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho o objetivo é desenvolver uma ferramenta (*Software*) que será executada em um computador portátil (PDA) com sistema operacional Windows Mobile, para coleta de dados, auditoria, configuração e análise das curvas de torque que estão armazenadas no atuador elétrico.

4.1 Requisitos básicos

Os requisitos básicos principais do sistema são os seguintes:

- Coletar os dados do Atuador elétrico para um PDA através de comunicação Bluetooth;
- Mostrar os dados de eventos na tela do PDA;
- Mostrar as curvas de torque no atuador na tela do PDA de forma gráfica, comparado a uma curva padrão;
- Mostrar os dados estatísticos do atuador na tela do PDA.
- Modificar através do PDA as configurações do atuador.

4.2 Metodologia

O trabalho pode ser dividido em dois processos, um envolvendo as modificações necessárias ao atuador elétrico e outro o desenvolvimento da aplicação para o PDA. Estes dois serão tratados de forma distinta nos próximos capítulos.

5 DESENVOLVIMENTO NO ATUADOR ELÉTRICO:

Foram avaliados quais os dados complementares teriam que ser disponibilizados pelo atuador elétrico para atender os casos de uso do PDA (análise de requisitos). Foram avaliadas as soluções dos concorrentes através da análise de documentos, catálogos e softwares. Com base nestes requisitos, foi feito o projeto e foram implementadas as modificações no *firmware* do atuador.

Os atuadores elétricos além das modificações de *firmware*, tiveram que receber um módulo de comunicação *Bluetooth*. Como o final do desenvolvimento da nova eletrônica prevista para o final de 2006 foi transferida para 2007 devido ao atraso na liberação dos

recursos de subvenção da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), foi necessário adaptar um módulo *Bluetooth* na placa de painel da eletrônica atual. No novo projeto de eletrônica de controle do atuador elétrico, o módulo fará parte do painel.

Com o módulo *Bluetooth* instalado e as modificações do *firmware* implementadas, foram feitos testes de comunicação com o PDA. Na figura 12 pode ser visualizada a adaptação do módulo Bluetooth na placa atual do atuador.



Figura 12: Adaptação do Módulo Bluetooth

5.1 Ferramentas de Desenvolvimento para o Atuador

Durante o desenvolvimento foi utilizada uma placa controladora (CPU) do atuador elétrico com um *firmware* de simulação. O software de simulação dispensa o uso da mecânica e sensores, simulando os sinais elétricos de entrada e saída para testes, podendo fazer operações de abertura e fechamento com simulação da posição em função do tempo e torque em função da posição.

No desenvolvimento das modificações de *firmware* do atuador elétrico, o ambiente utilizado foi o *IAR Embedded Workbench* que inclui todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de software para o microcontrolador da CPU (Intel 80C196). As linguagens utilizadas no *firmware* do atuador foram o *Assembler* e o *C*, dependendo da necessidade de performance da rotina específica.

5.2 Desenvolvimento do Sistema no Atuador

Todas as modificações implementadas para atender aos novos requisitos foram feitas em C e devido a estrutura atual do *Firmware* foi uma tarefa simples.

Para as curvas de torque, nada teve que ser adicionado, a meta é aumentar a capacidade atual de 500 para 2000 curvas na nova eletrônica onde haverá mais memória disponível. Para os dados de eventos e estatísticos, foram criadas duas novas estruturas de dados internas para armazenamento. A estrutura de eventos tem o seguinte formato:

```

unsigned int  Index;           // Índice do evento
unsigned char TipoEv;         // Tipo do Evento
unsigned int  ValorEv;        // Valor do Evento
unsigned char DiaEv;          // Dia do Evento - DD - BCD
unsigned char MesEv;          // Mes do Evento - MM - BCD
unsigned char AnoEv;          // Ano do Evento - AA - BCD
unsigned char HoraEv;         // Hora do Evento
unsigned char MinEv;          // Minuto do Evento
unsigned char SegEv;          // Segundo do Evento

```

Foi alocado um *array* da estrutura citada com 50 posições para execução dos testes. No novo hardware com mais capacidade de memória, o tamanho passará a ter 2000 posições, ocupando então 22K bytes de memória.

A escrita na estrutura é feita através da chamada de uma função que passa como parâmetros o tipo de evento e o valor. As chamadas foram incluídas no código nos pontos onde os eventos são gerados (alarmes, início e fim de movimento, etc...). A função de inclusão de registros é que acrescenta os dados de data e hora e índice do registro baseado no índice anterior mais um. O *array* é tratado como um buffer circular, desta maneira tem-se sempre os últimos eventos, sendo os mais antigos sobrescritos pelos mais novos caso o *array* tenha atingido sua capacidade máxima.

Para os dados estatísticos, foi feito um tratamento diferente. A cada evento que deve ser contabilizado é feita uma chamada de função específica. Para incremento dos contadores e contador de partidas máximo por hora as chamadas são feitas no acionamento do motor, enquanto que os horímetros e verificação do máximo e mínimo de temperatura é feita por chamadas síncronas do sistema de controle.

A estrutura para os dados estatísticos segue abaixo.

```
unsigned long ContCmdAB;  
unsigned long ContCmdFC;  
unsigned long HorimTotal;  
unsigned int HorimAcionado;  
unsigned int ContPartidasHora;  
unsigned int ContPartidasHoraMax;  
unsigned char TempMax;  
unsigned char TempMin;
```

6 DESENVOLVIMENTO NO PDA

O desenvolvimento do sistema, sob o aspecto de análise, seguiu a metodologia de desenvolvimento Orientado a Objeto (OO), que é compatível à solução do problema e à linguagem de programação do ambiente de desenvolvimento selecionado. Escolheu-se o Processo Unificado, que é um processo iterativo e incremental, sendo sempre baseado em casos de uso. O Processo Unificado faz uso extensivo da UML (*Unified Modeling Language*), e é baseado em modelos que, no contexto do desenvolvimento do *Software*, são uma simplificação da realidade, de forma a auxiliar o entendimento de alguns aspectos complexos inerentes a sistemas de *Software*. Tal processo possui um *framework* genérico que deve ser adaptado às necessidades e recursos disponíveis para o projeto. Neste caso, optou-se pelos seguintes diagramas para cobrir o processo de desenvolvimento do *Software* (SCOTT, 2003):

Workflow de Requisitos:

- Descrição dos requisitos;
- Modelo de domínio;
- Modelo de negócio;
- Modelo de casos de uso;
- Priorização dos casos de uso;
- Detalhamento dos casos de uso;
- Diagrama de mudança de estados (coleta);
- Protótipos das Interfaces com o usuário;

Workflow de Análise:

- Detalhamento das classes;

Diagrama de robustez;

Workflow de Projeto:

Diagrama de colaboração;

Diagrama de seqüência;

Diagrama de instalação;

Workflow de Implementação:

O objetivo deste *workflow* é a construção de uma versão operacional do próprio sistema. Implementação esta que é feita diretamente no ambiente de desenvolvimento.

Workflow de Teste:

Para o modelo de testes, pode-se utilizar o sistema em aplicações reais de operação. Como a operação do sistema é simples, optou-se em fazer os testes sem a necessidade de escrever um plano de teste formal, utilizando as descrições dos casos de uso e da interface com o usuário como referência.

6.1 Ferramentas de Desenvolvimento para o PDA

O ambiente de desenvolvimento selecionado é o *Visual Studio 2005* da Microsoft. Este ambiente foi escolhido porque o único fabricante de PDA com certificação Ex para utilização em áreas classificadas tem sistema operacional Windows Móble 5.0. Desta forma não houve alternativa, já que para o desenvolvimento de aplicações para este sistema operacional só a suíte da Microsoft suporta. A linguagem de programação utilizada foi C++.

Para o desenvolvimento foi utilizado um PDA com as mesmas características do equipamento que será utilizado no campo. Na figura 13 é mostrado o PDA de desenvolvimento que foi adquirido.

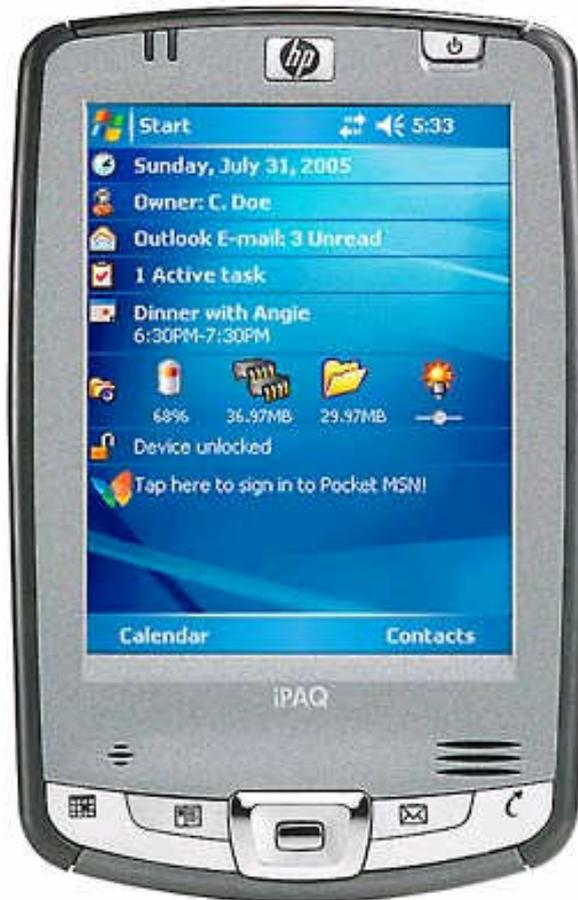


Figura 13: PDA – HP iPAQ hx2495 (Tamanho Natural)

6.2 Desenvolvimento do Sistema no PDA

A figura 14 mostra o ambiente de desenvolvimento com o PDA em sua base, o PC (notebook), a CPU e a placa de painel onde foi montada a placa de comunicação Bluetooth.



Figura 14 – Ambiente de desenvolvimento

Nos capítulos que seguem, o detalhamento do desenvolvimento utilizando a metodologia de análise orientada a objeto - Processo Unificado.

6.2.1 Workflow de Requisitos

6.2.1.1 Descrição dos requisitos

O sistema deve, baseado em comandos do operador do sistema através da tela do PDA, executar uma coleta de dados, salvar em um arquivo e mostrar os dados na tela do PDA. A comunicação com o PDA é feita com tecnologia sem fio “*Bluetooth*” e o protocolo utilizado entre o PDA e o atuador elétrico é o Modbus-RTU. A estrutura de dados do atuador (endereços dos registros para acesso através do protocolo de comunicação Modbus-RTU) estão definidos no manual do produto “Atuador Elétrico com Interface Externa Modbus-RTU”.

A seguir os requisitos de cada uma das funções principais da aplicação.

a) AUDITORIA

Os dados dos eventos são registros gerados por toda e qualquer alteração de configuração ou operação do atuador e são mostrados na tela no formato de lista. No início da lista (parte inferior da tela) estão os parâmetros de configuração de operação do atuador que foram estabelecidos no *startup* do conjunto atuador/válvula. A seguir, os registros de operação, manutenção e alarmes, vão sendo mostrados em ordem cronológica. Cada evento tem associado um valor que é a condição do alarme, o novo valor de configuração de um parâmetro operacional ou posição inicial de início de movimento ou final de parada de movimento. Na figura 15, um exemplo de dados de auditoria.

		Evento	Valor	Data	Hora
Manutenção	————	PD Fim Curso	0%	15/03/07	09:41:12
		FC Local	95%	15/03/07	09:40:28
	————	Conf TQ FC	130 Nm	15/03/07	09:37:42
		PD TQ	95%	15/03/07	09:34:15
	————	AL PD TQ	120 Nm	15/03/07	09:34:15
Alarmes		FC Local	100%	15/03/07	09:34:12
	————	Bateria Baixa	--	15/03/07	03:04:57
Operação	{	PD Fim Curso	100%	12/03/07	13:03:54
		AB Remoto	23%	12/03/07	13:03:25
		PD Remoto	23%	12/03/07	12:15:30
		AB Remoto	0%	12/03/07	12:15:22
Startup	{	Tempo Max	45 s	12/03/07	11:03:45
		Max Oper Hora	25	12/03/07	11:03:45
		Fim Curso FC	512	12/03/07	11:03:45
		Fim Curso AB	930	12/03/07	11:03:45
		Conf TQ FC	115 Nm	12/03/07	11:03:45
		Conf TQ AB	100 Nm	12/03/07	11:03:45

Figura 15: Auditoria

Na figura 15, pode-se notar, em azul, os dados de manutenção com os valores de Startup e uma modificação no valor do torque de fechamento que foi estabelecido inicialmente em 115 Nm e modificou para 130 Nm. Em vermelho os alarmes de Bateria Baixa e Alarme de Parada por Torque excessivo que chegou a 120 Nm quando o máximo estabelecido é de 115 Nm. Por fim, em preto os comandos executados pelo operador no modo local ou remoto. AB = Abertura, PD = Parada e FC = Fechamento.

b) ESTATÍSTICAS

Além dos eventos, também é totalizado pelo atuador o tempo total de operação (tempo em que esteve energizado pela rede elétrica) e o de operação que é quando o atuador esteve em movimento de abertura ou fechamento. Outro dado importante é o número de partidas do motor e o regime de operação a que o equipamento está submetido, que se traduz no número

de partidas por hora. Todos estes valores são importantes para avaliar a vida útil do equipamento. No quadro 3, é mostrada a tela de totalizadores.

Descrição	Valor
Tempo Total	172.692 h
Tempo de Operação	1.456 h
Numero de Partidas Abertura	915
Numero de Partidas Fecham.	759
Numero Max Partidas / Hora	63
Temperatura Maxima	47
Temperatura Minima	14

Quadro 3 –Totalizadores

c) CURVAS DE TORQUE

As curvas de torque que foram coletadas possibilitam uma série de análises do conjunto atuador / válvula. O primeiro gráfico, o comparativo, permite avaliar o torque necessário ao movimento de abertura ou fechamento da válvula com aquela que foi determinada como sendo a curva ideal de funcionamento, geralmente feita durante o comissionamento do conjunto. Neste comparativo é possível verificar a diferença entre o torque aplicado na curva ideal e o torque que esta sendo aplicado atualmente na válvula e desta maneira verificar se existem pontos específicos no curso da válvula que mereçam alguma atenção. A figura 16 exemplifica um gráfico comparativo. As barras verdes representam o torque da curva padrão e as azuis o torque atual nos mesmos intervalos de 5% coletados. Pode-se observar um aumento generalizado do torque sem nenhum ponto específico, neste caso, representando uma necessidade de torque maior para a movimentação que tem significados diferentes dependendo do tipo de válvula.

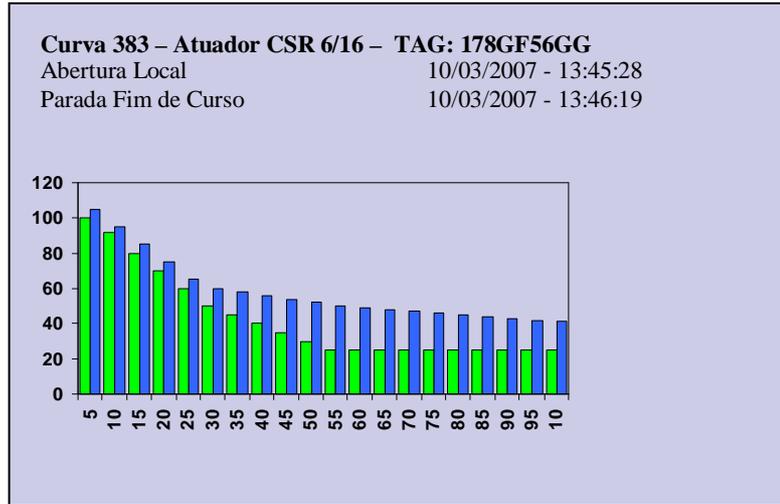


Figura 16 – Gráfico Comparativo

6.2.1.2 Modelo de Domínio

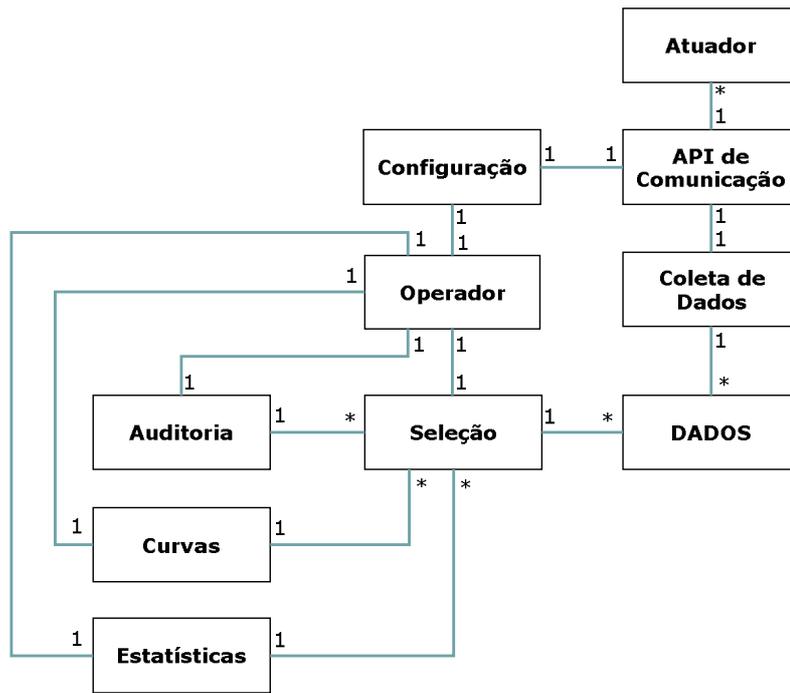


Figura 17 - Diagrama de Domínio

6.2.1.3 Modelo de Negócio

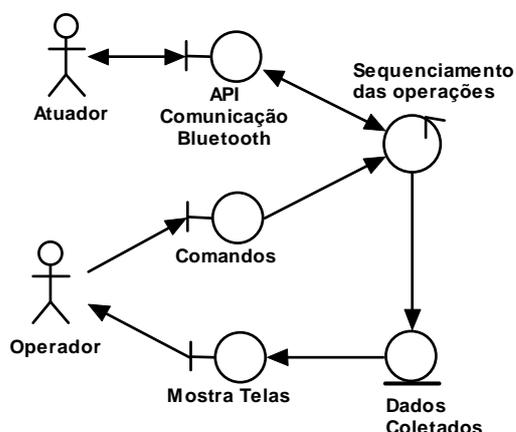


Figura 18 – Diagrama de modelo de negócio

6.2.1.4 Modelo de Caso de Uso

Analisando os requisitos da aplicação, foi possível detectar os seguintes casos de uso:

- Coletar as informações do atuador e guardar em um arquivo (coleta de dados).
- A partir dos dados de eventos coletados em um arquivo, mostrar uma tela de auditoria (Auditoria).
- A partir dos dados estatísticos coletados em um arquivo, mostrar uma tela de Estatística do atuador (Estatística).
- A partir dos dados de torques coletados em um arquivo, mostrar uma tela com o gráfico da curvas de torque do atuador (Curvas).
- A partir de um atuador conectado através de comunicação Bluetooth, proceder com a configuração do atuador (Configuração).
- A partir da tela de entrada do sistema, mostrar uma tela com as informações da empresa detentora dos direitos e a versão do programa (Sobre).
- Como os casos de uso de Auditoria, Estatística e Curvas passam por uma escolha de arquivo de dados, foi criado um caso de uso de Seleção de Dados para facilitar a análise e o desenvolvimento.

Descrição dos casos de uso

a) Coleta

O operador pressiona o botão “Coleta” na Tela de Entrada e abre uma nova tela com os atuadores que se encontram na área de comunicação do PDA (Tela de Coleta). Na janela é mostrado o TAG do Atuador e o endereço Bluetooth. O TAG do atuador deve ser programado na interface Bluetooth do atuador como sendo o nome do dispositivo.

O operador seleciona um dos atuadores da janela para estabelecer a comunicação e coletar os dados do atuador para o PDA.

O operador pressiona o botão “Coleta” e o sistema estabelece uma conexão ponto a ponto entre o PDA e o atuador elétrico escolhido.

Os dados coletados são gravados em um arquivo no PDA com o nome de TIPO+TAG+ENDEREÇO+DATA. Se o arquivo já existir pergunta através de uma janela se quer adicionar os dados, se não, cria um novo.

Durante a operação de comunicação (transferência dos dados do atuador para o PDA) uma janela deve mostrar o andamento do processo através de uma barra de progresso.

Na tela de coleta tem-se ainda os botões de Atualizar, Análise, Configuração e Volta. O botão atualizar verifica novamente os atuadores que estão na área de comunicação do PDA (ao alcance). O botão volta mostra novamente a tela de entrada. Os outros botões levam a outros casos de uso descritos a seguir.

b) Seleção de Dados

Quando pressionado o botão de análise na tela de entrada ou na tela de Coleta é apresentada ao operador a tela de seleção de dados. Nesta tela em forma de lista são mostrados todos os arquivos de dados coletados disponíveis no PDA. A ordem é a da data de coleta em ordem decrescente (mais novo primeiro). Cada elemento da lista tem o TAG, o endereço, o tipo de dado (Curva, Estatística ou Evento) e a data da coleta. A lista permite seleção e uma vez selecionado algum item, o botão Mostrar é habilitado. Pressionando o botão Mostrar passa-se ao caso de uso de Mostrar Curva, Estatística ou Auditoria se os dados forem de eventos.

O botão *volta* mostra novamente a tela de entrada.

c) Auditoria

Mostra a tela de auditoria ao operador ao pressionar o botão de Mostrar se o arquivo selecionado é de eventos.

A tela de Auditoria, mostra em seu cabeçalho o TAG do atuador.

Os eventos são mostrados na forma de tabela com as linhas ordenadas pela data de registro e com as seguintes colunas:

- Tipo de evento
- Valor relativo ao evento
- Data e Hora do evento

Se o total de eventos não puder ser mostrado em uma tela, aparece um botão de rolagem para que o operador possa visualizar todos os eventos.

Na parte inferior da tela aparece o botão de Volta que retorna a Tela de Seleção de Dados.

d) Estatísticas

Se na tela de Seleção de Dados o arquivo selecionado quando pressionado o botão de Mostrar era de estatísticas, a tela que é apresentada ao operador é a Tela de Estatísticas.

As informações estatísticas são mostradas em forma de lista e são as seguintes:

- Horímetro total
- Horímetro de operação
- Numero máximo de operações por Hora (Regime)
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Tempo máximo de operação

Na parte inferior da tela aparece o botão de Volta que retorna a Tela de Seleção de Dados.

e) Curva de Torque

Se na tela de Seleção de Dados o arquivo selecionado quando pressionado o botão de Mostrar era de Curvas de Torque, a tela que é apresentada ao operador é a Tela de Curvas. Nesta tela as curvas são mostradas de forma resumida a tendência de modificação do comportamento do torque ao longo do tempo.

Na parte inferior da tela aparece o botão de Volta que retorna a Tela de Seleção de Dados.

f) Configuração

Ao pressionar o botão de “Configuração” na tela de Coleta, o PDA busca as informações de configuração do atuador através da comunicação Bluetooth utilizando o protocolo Modbus-RTU, guarda os dados coletados em um arquivo com o número de série do atuador e mostra em uma tela os dados de configuração do atuador coletado. Se já existe um arquivo com o número de série do atuador, os dados novos são sobrescritos no arquivo existente. A tela permite modificar os dados e reenviar ao atuador através do botão Enviar.

g) Sobre

A primeira tela apresentada ao operador quando o programa é iniciado é a Tela de Entrada. Nesta tela, aparece o nome do programa, a figura de um atuador elétrico, o logo da empresa e quatro botões, um de coleta, um de análise, um de sobre e outro de fim. O botão de fim termina a execução do programa e a tecla de sobre mostra a tela com informações da empresa e versão do programa. As teclas de Coleta e Análise, levam a outros casos de uso descritos a seguir.

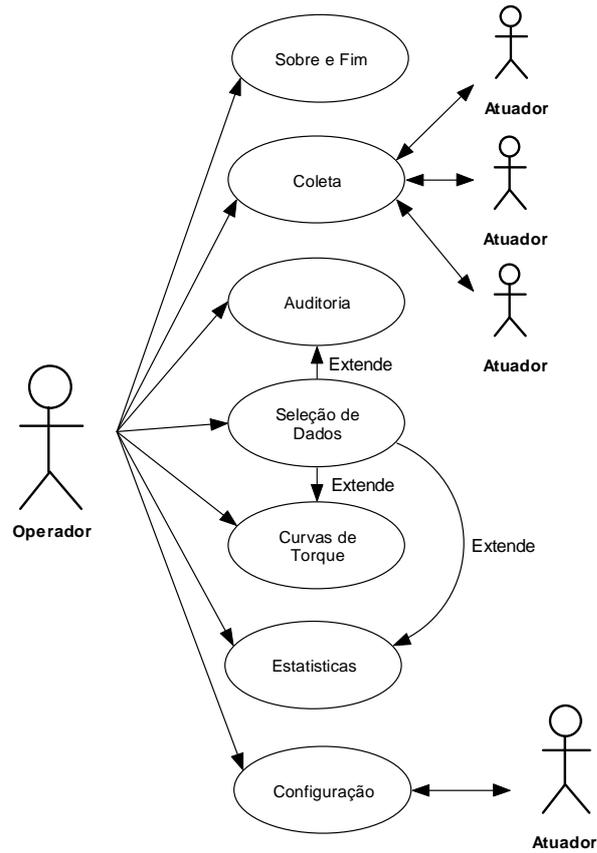


Figura 19 - Diagrama de casos de uso

Priorização dos casos de uso

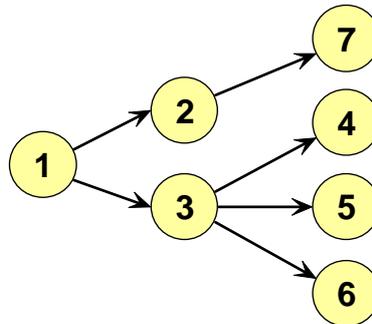


Figura 20 – Priorização dos casos de uso

- 1 - Entrada
- 2 - Coleta
- 3 - Seleção de Dados
- 4 - Auditoria
- 5 - Curvas de Torque
- 6 - Estatísticas
- 7 - Configuração

Detalhamento dos casos de uso

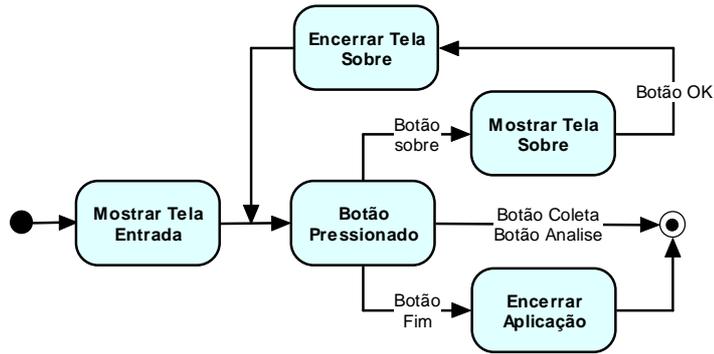


Figura 21 – Detalhe caso uso – Sobre

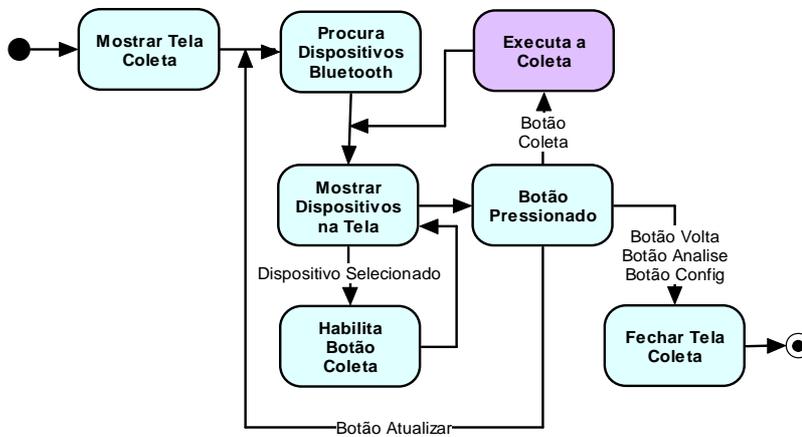


Figura 22 – Detalhe caso uso - Coleta

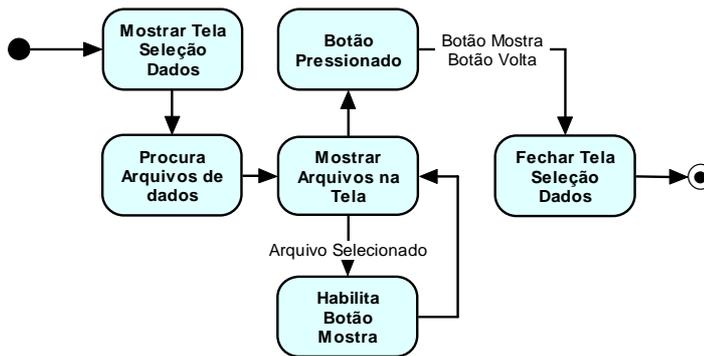


Figura 23 – Detalhe caso uso – Seleção de Dados



Figura 24 – Detalhe caso uso - Auditoria

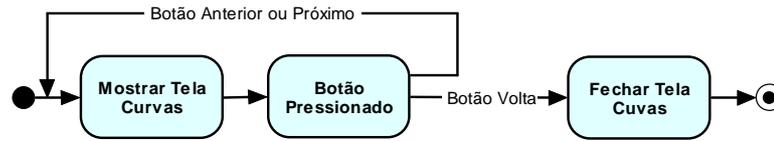


Figura 25 – Detalhe caso uso – Curvas de Torque



Figura 26 – Detalhe caso uso - Estatísticas

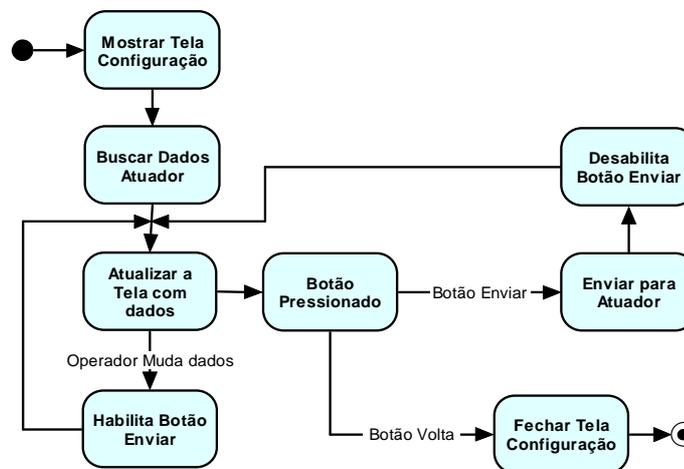


Figura 27 – Detalhe caso uso – Configuração

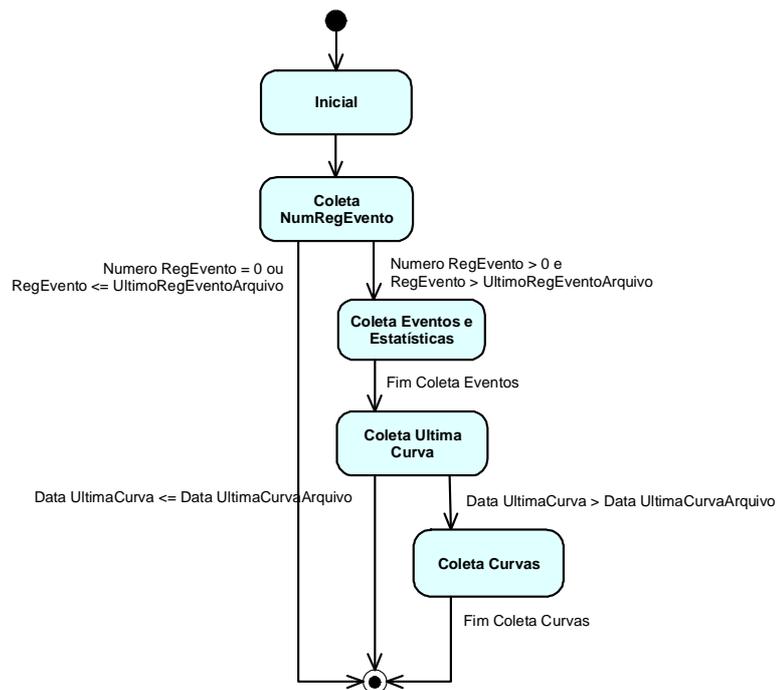


Figura 28 – Diagrama de Estados – Coleta

6.2.1.5 Protótipo de Interface com o usuário

a) Tela de Entrada

É a primeira tela da aplicação apresentada ao operador. Nela é mostrado o nome do programa, a figura de um atuador elétrico, o logotipo da empresa e quatro botões.

Também é mostrada a partir do botão de Volta das telas de Coleta e Análise.

Botão Coleta – Abre uma nova Janela com uma lista dos dispositivos (Atuadores) que estão no raio de alcance da comunicação Bluetooth do PDA. Tem a finalidade de coletar os dados do Atuador.

Botão Análise – Abre uma nova janela com uma lista dos arquivos de dados que já foram coletados para que o operador possa fazer a análise dos dados.

Botão Sobre – Mostra tela com informações da aplicação.

Botão Fim – Encerra a aplicação.

O botão Coleta inicia ativo como default.



Figura 29: Tela de Entrada

b) Sobre

Tela com informações da aplicação que é mostrada a partir do botão *sobre* na tela de entrada, mostra o nome da empresa detentora dos direitos, a versão e data e um botão.

Botão OK – Fecha a janela e volta à tela de Entrada.

O botão OK inicia ativo como default.



Figura 30: Tela Sobre

c) Coleta

Tela de coleta que é mostrada a partir do botão *coleta* da tela de entrada.

A tela lista os atuadores que se encontram na área de comunicação do PDA, mostrando em cada linha a informação do TAG do atuador e o endereço Bluetooth.

O botão de coleta fica desabilitado até que o operador selecione algum dos dispositivos (atuador) da lista.

A tela possui cinco botões:

Botão Atualizar – Pressionando o botão atualizar, é executado uma nova pesquisa dos dispositivos (Atuadores) que se encontram no raio de alcance do sistema de comunicação Bluetooth. É utilizado se o operador se desloca de uma área para outra onde novos dispositivos possam ser encontrados.

Botão Coleta – Inicia o processo de coleta, durante o processo uma barra de progresso é apresentada ao operador. Se durante o processo for verificado que não existem dados novos desde a última coleta, uma janela de alerta com a mensagem “Atuador sem dados novos”. Ao final do processo de coleta onde podem ser atualizados os dados de Eventos, Estatísticas e Curvas, uma janela de mensagem com o tipo de dados coletados também é exibida. Ex: “Coleta de Eventos e Estatísticas executado com sucesso”.

Botão Análise - Abre uma nova janela com uma lista dos arquivos de dados que já foram coletados para que o operador possa fazer a análise dos dados.

Botão Configuração – Abre uma nova janela que possibilita a configuração do atuador.

Botão Voltar – Volta para a tela de Entrada.

O botão Voltar inicia ativo como default.

O operador seleciona um dos atuadores da lista e pressiona o botão Coleta para estabelecer a comunicação e coletar os dados do atuador para o PDA.



Figura 31: Tela de Coleta

d) Janela da Barra de Progresso

Barra de progresso do processo de coleta. É mostrada para cada transferência de dados de Eventos, Estatística e Curvas.

A janela possui um botão:

Botão Cancela – Mostrado durante todo o processo e permite interromper o processo de coleta antes de sua finalização.

O botão Cancela inicia ativo como default.



Figura 32: Barra de Progresso



Figura 33: Barra de Progresso sobre Tela de Coleta

e) Janelas de Mensagem de final de Coleta.

Mostrado no final do processo de coleta informando o status final da execução e quais os tipos de dados que foram coletados.

A janela possui um botão.

Botão OK – Confirma a leitura da mensagem.

O botão OK inicia ativo como default.

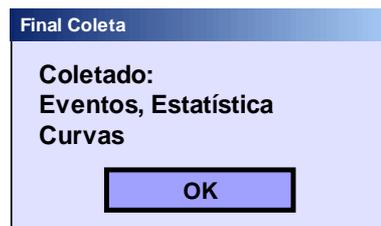


Figura 34: Mensagem de Final de Coleta

f) Janela de Mensagem de adição ou novo arquivo.

Mostrado no processo de coleta se já existirem dados de um determinado dispositivo (atuador). Pergunta ao operador se os dados devem ser adicionados ao arquivo de dados atual, colocados em um novo arquivo ou descartados.

A tela possui três botões:

Botão Anexar – Adiciona ao arquivo atual.

Botão Criar Novo – Coloca em um arquivo novo.

Botão Cancela – Descarta os dados.

O botão Anexar inicia ativo como default.

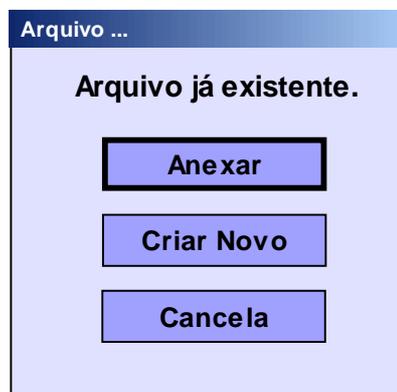


Figura 35: Mensagem de Adição ou Novo

g) Seleção de Dados

A tela de seleção de dados é apresentada ao operador se for pressionado o botão de Analise na tela de Entrada ou na tela de Coleta. O software verifica todos os arquivos de dados disponíveis e lista em ordem decrescente (mais novo primeiro) mostrando o tipo de dado (Curva, Estatística ou Evento), o TAG, o endereço Bluetooth e a data da coleta. O botão de Mostrar só fica habilitado após a seleção de um item da lista.

A tela possui dois botões:

Botão Mostrar - Mostra a tela de Curva, Estatística ou Auditoria dependendo do tipo de dados.

Botão Voltar - Mostra novamente a Tela de Entrada.

O botão Voltar inicia ativo como default.

Abreviação de Tipo:

EV = Eventos

ET = Estatísticas

CV = Curvas



Tipo	TAG	End.	Data
EV	VAV 67549	3865CD45	15/06/07
ET	VAV 67549	3865CD45	15/06/07
CV	VAV 67549	3865CD45	15/06/07
EV	VAV 67550	3865CD94	28/03/07
ET	VAV 67550	3865CD94	28/03/07
CV	VAV 67550	3865CD94	28/03/07

Figura 36: Tela de Seleção de Dados

h) Auditoria

A tela de Auditoria é apresentada ao operador se foi pressionado o botão Mostrar e os dados selecionados na tela de Seleção eram de Eventos.

A tela de Auditoria mostra em seu cabeçalho o TAG do Atuador.

Os eventos são mostrados na forma de tabela com as linhas ordenadas pela data de registro e com as seguintes colunas:

Tipo de evento (descritivo abreviado)

Valor relativo ao evento se houver

Data e Hora do evento

Mostra uma barra de rolagem vertical se todos os dados não puderem ser visualizados em uma única janela.

A tela possui apenas um botão:

Botão Voltar - Retorna a Tela de Seleção de Dados.

O botão Voltar inicia ativo como default.

Resumo utilizado nos Eventos:

PD = Parada

TQ = Torque

FC = Fechado ou Fechamento

AB = Aberto ou Abertura



Evento	Valor	Data	Hora
PD TQ	95%	15/03/07	09:34:15
AL PD TQ	120 Nm	15/03/07	09:34:15
FC Local	100%	15/03/07	09:34:12
Bateria Baixa	--	15/03/07	03:04:57
PD Fim Curso	100%	12/03/07	13:03:54
AB Remoto	23%	12/03/07	13:03:25
PD Remoto	23%	12/03/07	12:15:30
AB Remoto	0%	12/03/07	12:15:22
Fim Curso FC	512	12/03/07	11:03:45
Fim Curso AB	930	12/03/07	11:03:45
Conf TQ FC	115 Nm	12/03/07	11:03:45
Conf TQ AB	100 Nm	12/03/07	11:03:45

VOLTAR

Figura 37: Tela de Auditoria

i) Estatísticas

A tela de Estatísticas é apresentada ao operador se foi pressionado o botão Mostrar e os dados selecionados na tela de Seleção eram de Estatísticas.

A tela de Estatísticas mostra em seu cabeçalho o TAG do Atuador.

As informações estatísticas são mostradas em forma de lista e são as seguintes:

Horímetro total (Tempo Total)

Horímetro de operação (Tempo de Operação)

Numero de Partidas de Abertura

Numero de Partidas de Fechamento

Numero máximo de operações por Hora (Regime)

Tempo máximo de operação

Temperatura máxima

Temperatura mínima

A tela possui apenas um botão:

Botão Voltar - Retorna a Tela de Seleção de Dados.

O botão Voltar inicia ativo como default.



Figura 38: Tela de Estatísticas

j) Curva de Torque

A tela de Curvas é apresentada ao operador se foi pressionado o botão Mostrar e os dados selecionados na tela de Seleção eram de Curvas de Torque.

A tela de Curvas mostra em seu cabeçalho o TAG do Atuador, o modelo, o numero da curva de torque e os dados de inicio e fim de movimento.

Nesta tela as curvas são mostradas de forma resumida, uma a uma com a sobreposição de uma curva padrão que é a mais antiga da base na cor Verde, a curva atual é na cor azul.

A primeira curva mostrada ao operador é a mais recente, o botão de Próxima ou Anterior só é habilitado se houverem respectivamente curvas depois ou antes da que esta sendo mostrada.

A tela possui três botões:

Botão Volta – Volta para a Tela de Seleção de Dados.

Botão Anterior – Mostra a curva anterior.

Botão Próxima – Mostra a próxima curva.

O botão Voltar inicia ativo como default.



Figura 39: Tela de Curvas de Torque

k) Configuração

A tela de configuração é mostrada ao operador a partir da tela de coleta ao pressionar o botão de configuração. O ponto de partida desta tela é feita a partir da tela de coleta pois o sistema precisa estabelecer uma comunicação com o atuador a fim de atualizar os valores da configuração na tela e ter a possibilidade de enviá-los de volta ao atuador se o operador proceder com alguma alteração da configuração.

Na área central da tela aparecem as opções de configuração do modelo de atuador que foi selecionado na tela de coleta.

A tela possui dois botões além dos existentes para configuração:

Botão de Voltar – Volta a tela de Coleta.

Botão Enviar – Envia os dados modificados ao atuador.

O botão Voltar inicia ativo como default.

Start X

TAG: VAV 67549

Configuração:

Torque Abertura:

Torque Fechamento:

ESD

Abre

Fecha

Para

Desconsidera Torque Abertura

Fechamento Antihorário

Desconsidera Torque ESD

Desconsidera Seq Fases

Endereço RTU:

Acerta Fim de Curso

Figura 40: Tela de Configuração

6.2.1.6 Requisitos Adicionais

A seguir estão listados os requisitos adicionais do sistema devido ao quesito de desenvolvimento do sistema.

Equipamento PDA com Windows MóBILE 5.0

Ambiente de desenvolvimento Visual Studio 2005.

SDK do Windows MóBILE 5.0 para MS Visual Studio 2005.

Microsoft ActiveSync para Windows Versão 4.0 ou posterior.

Cabo de comunicação USB ou outro para PDA.

6.2.2 *Workflow* de Análise

No *workflow* de análise são desenvolvidos os diagramas de robustez e detalhamento das classes.

6.2.2.1 Modelo de Análise

a) Sobre

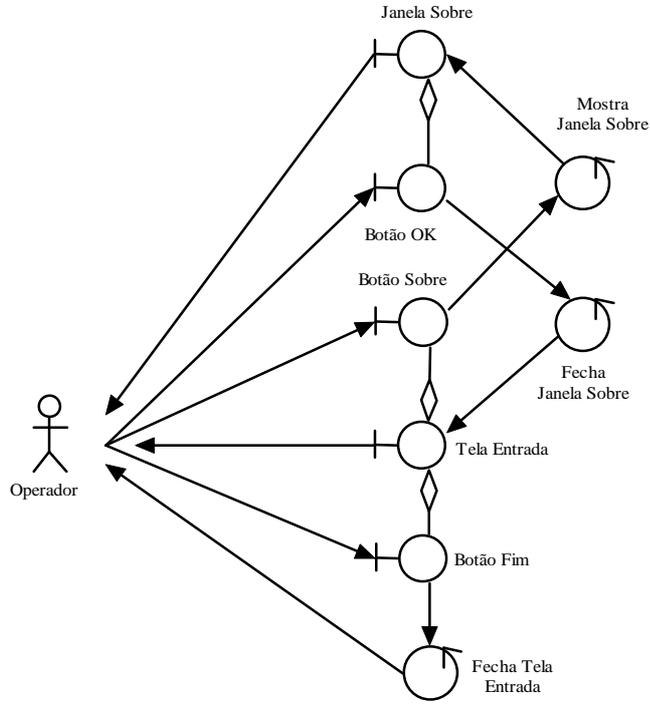


Figura 41 - Diagrama de Robustez (Sobre)

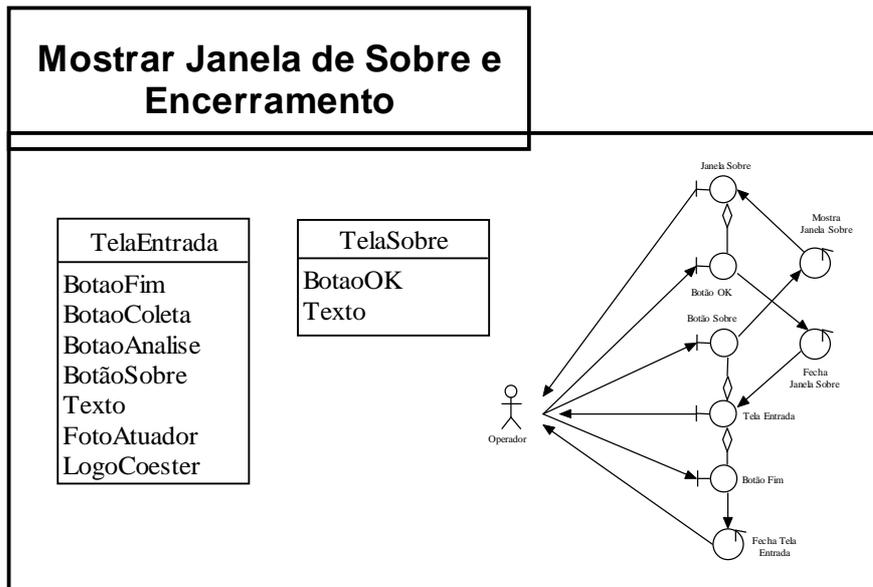


Figura 42 – Detalhamento Classes (Sobre)

b) Coletar Dados do Atuador

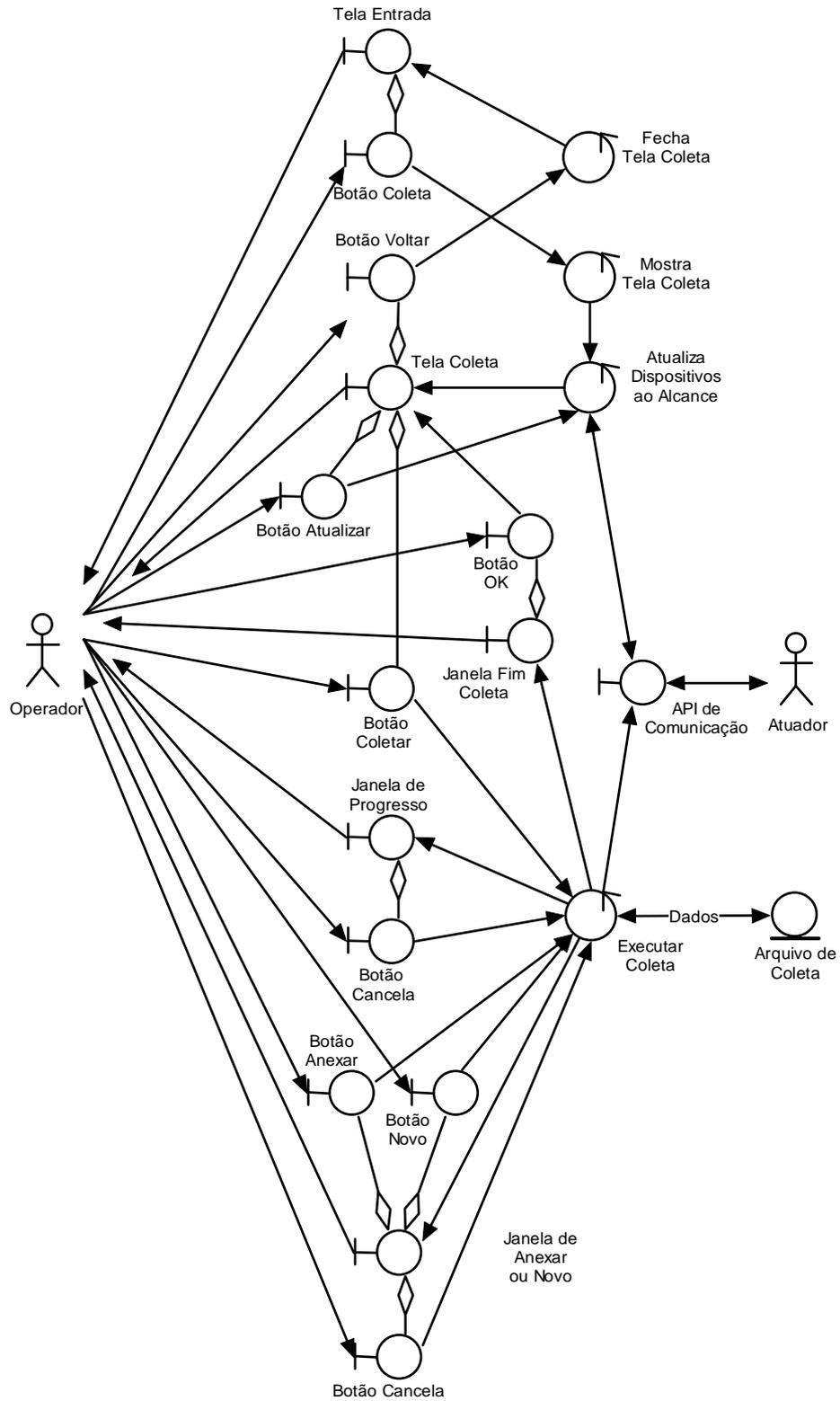


Figura 43 - Diagrama de Robustez (Coleta)

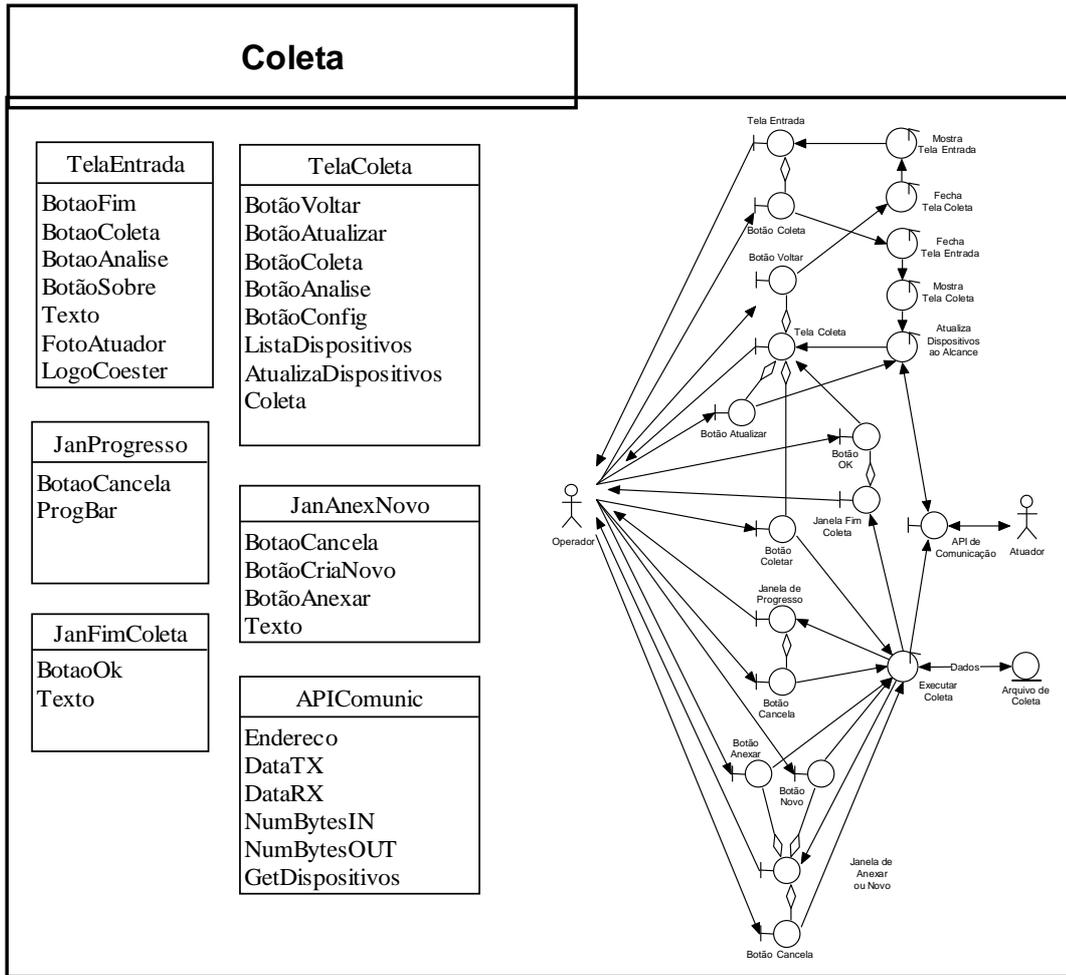


Figura 44 – Detalhamento Classes (Coleta)

c) Seleção de Dados

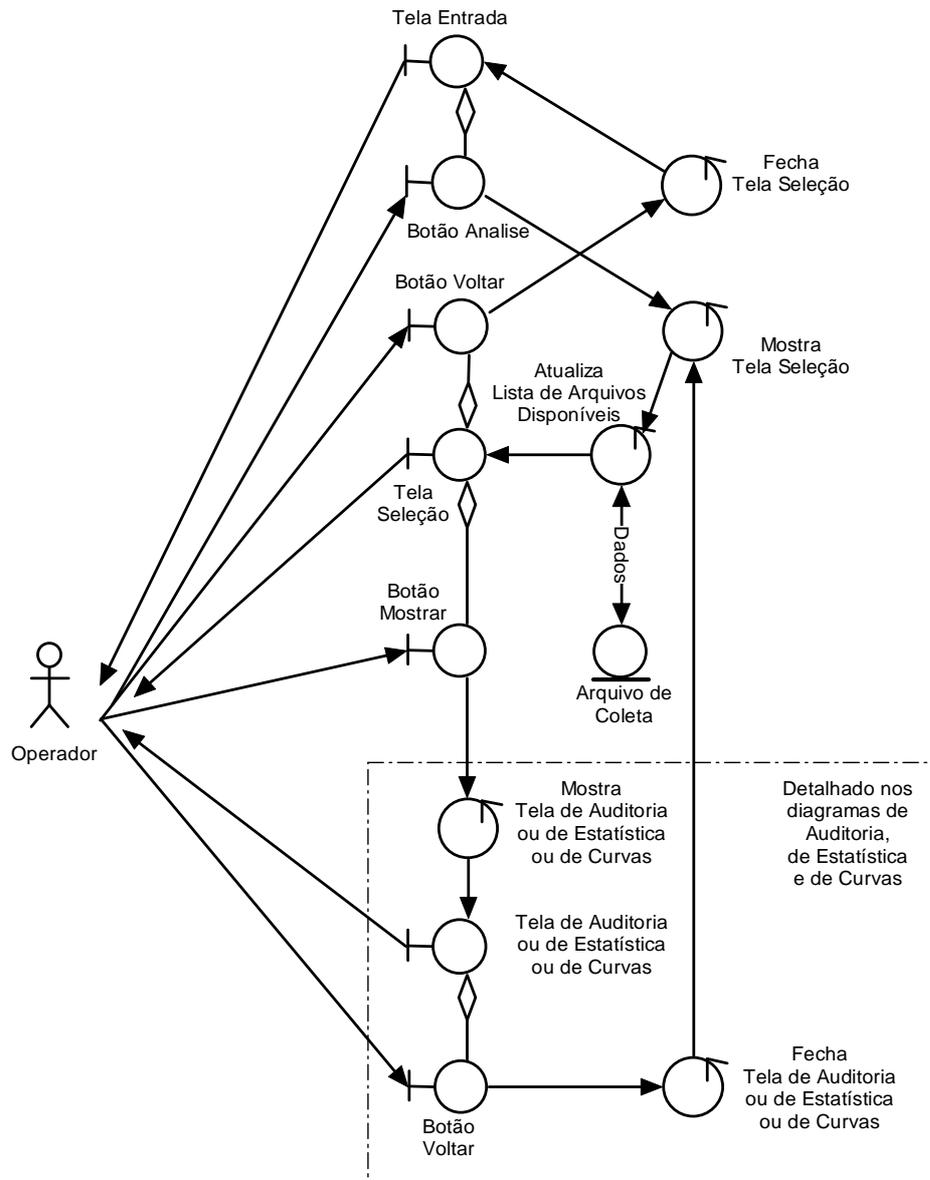


Figura 45 - Diagrama de Robustez (Seleção)

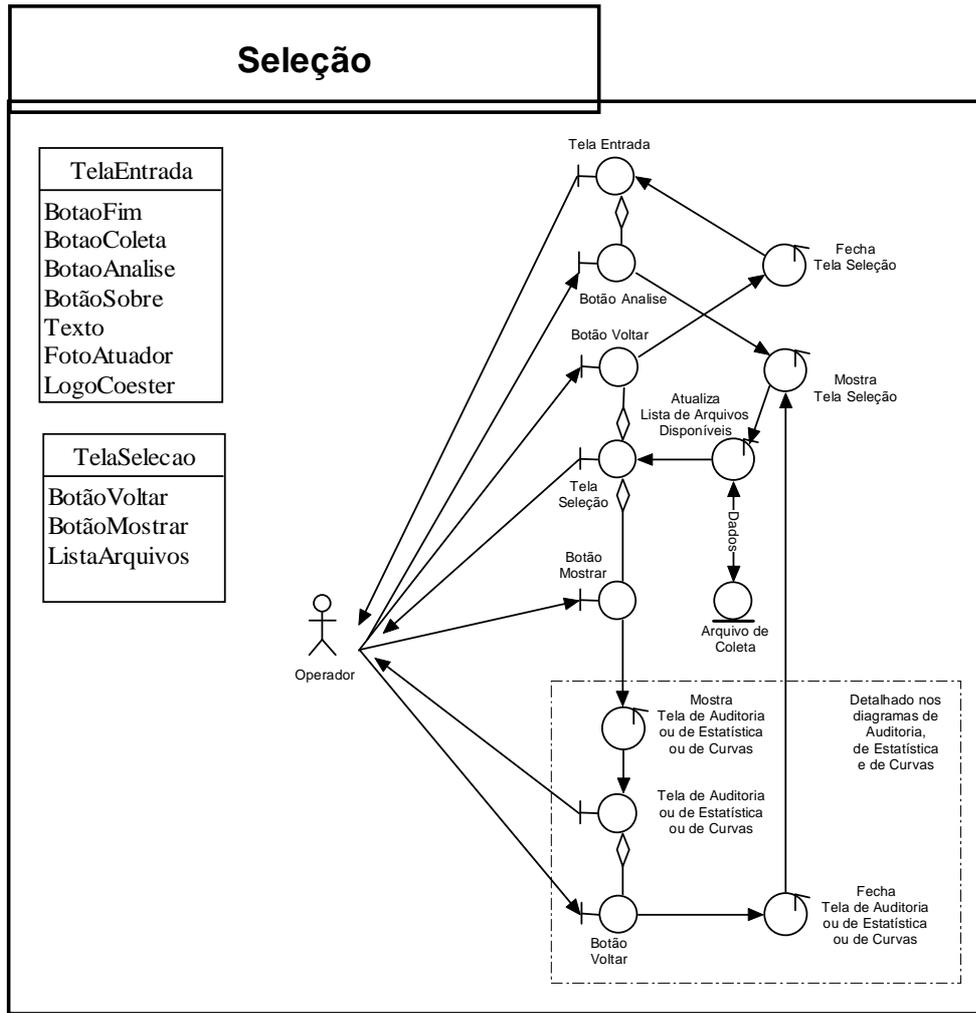


Figura 46 – Detalhamento Classes (Seleção)

d) Auditoria

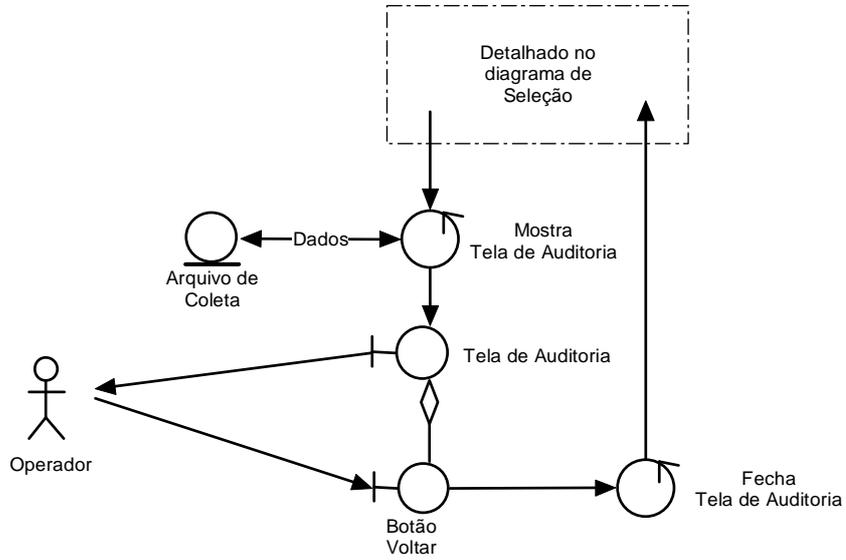


Figura 47 - Diagrama de Robustez (Auditoria)

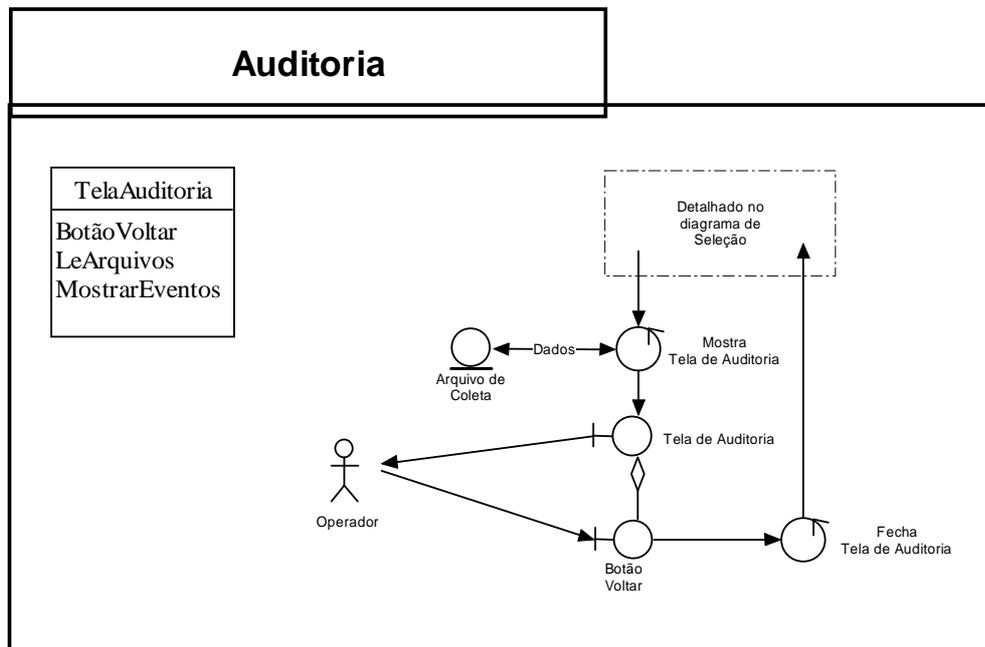


Figura 48 – Detalhamento Classes (Auditoria)

e) Estatísticas

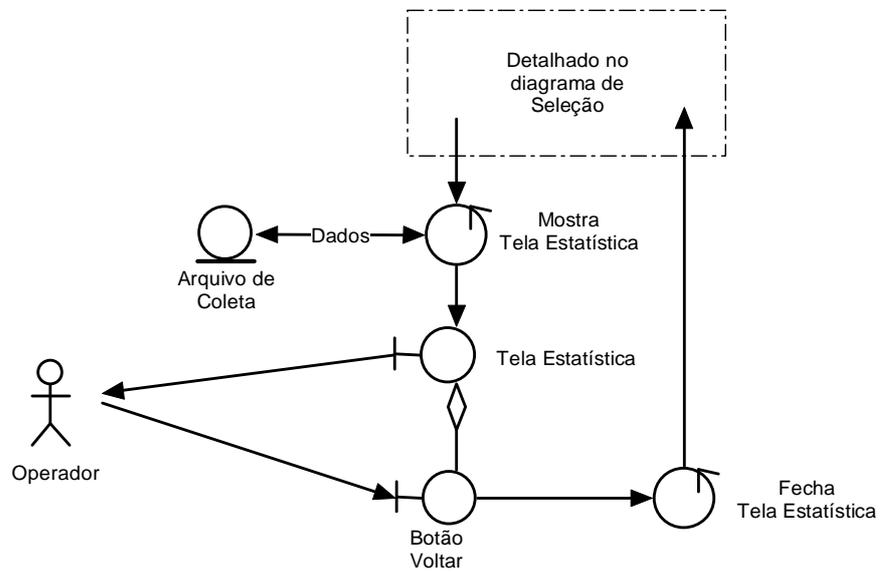


Figura 49 - Diagrama de Robustez (Estatística)

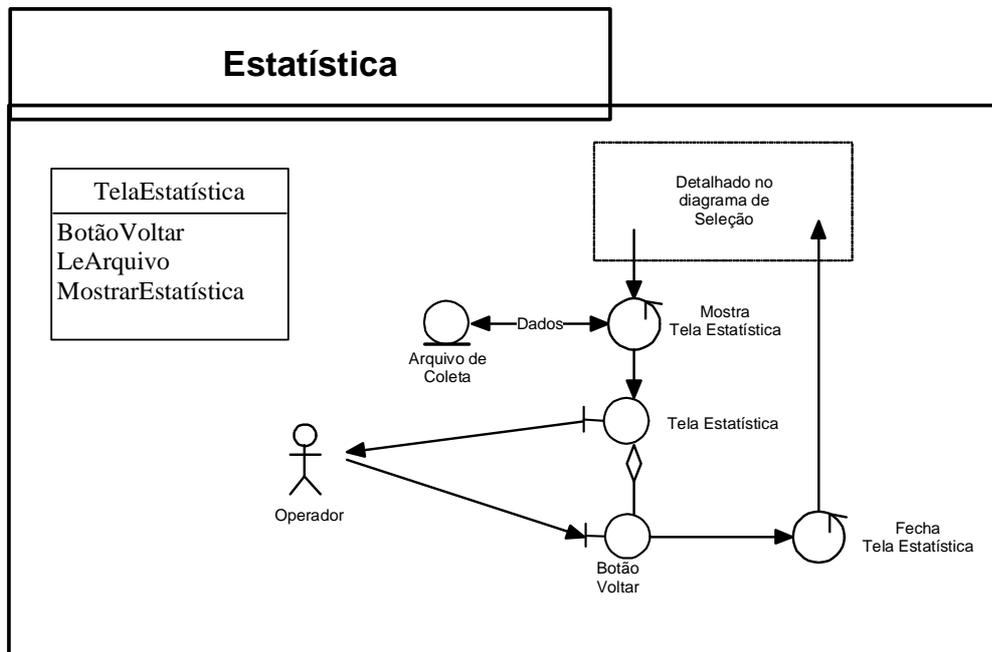


Figura 50 – Detalhamento Classes (Estatística)

f) Curvas de Torque

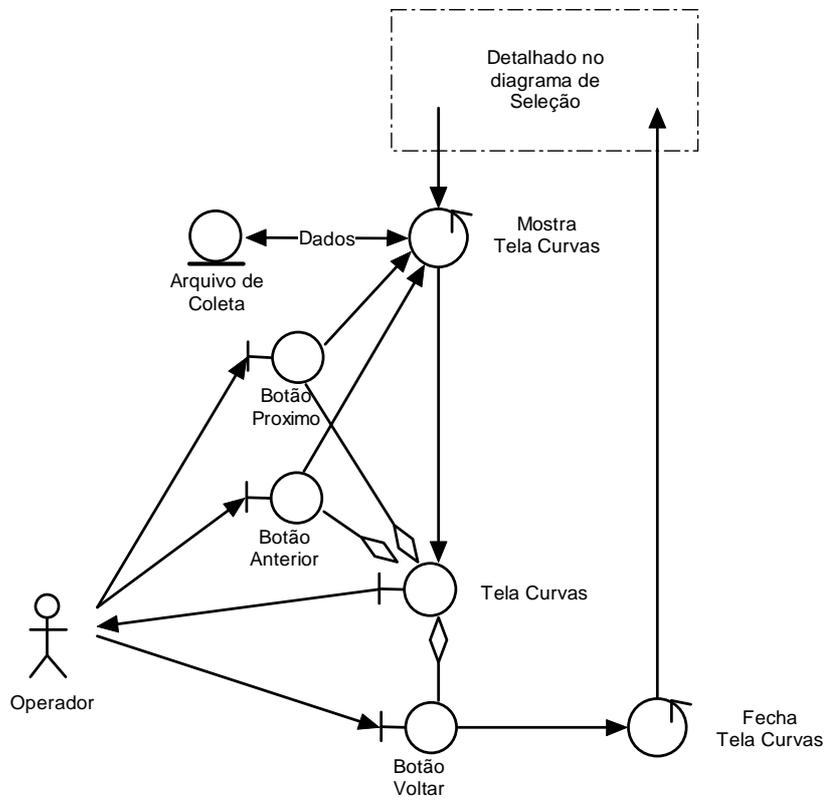


Figura 51 - Diagrama de Robustez (Curvas)

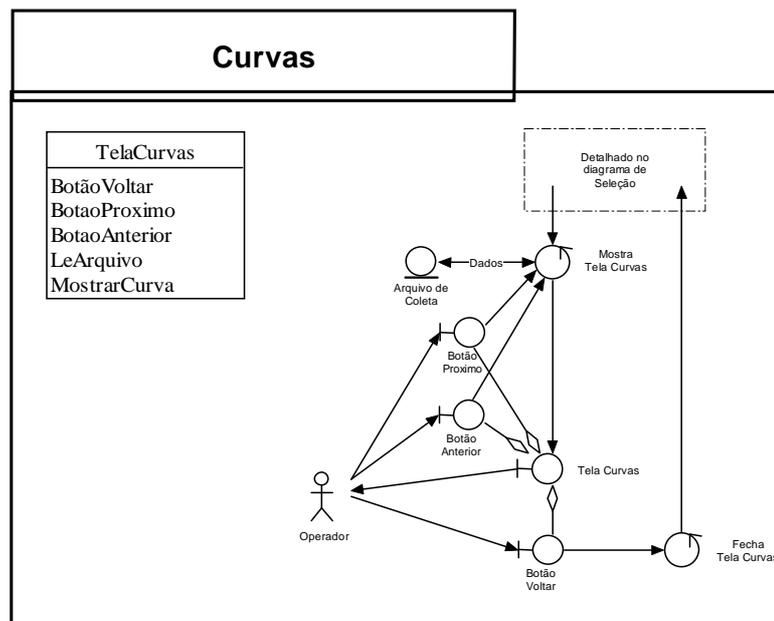


Figura 52 – Detalhamento Classes (Curvas)

g) Configuração

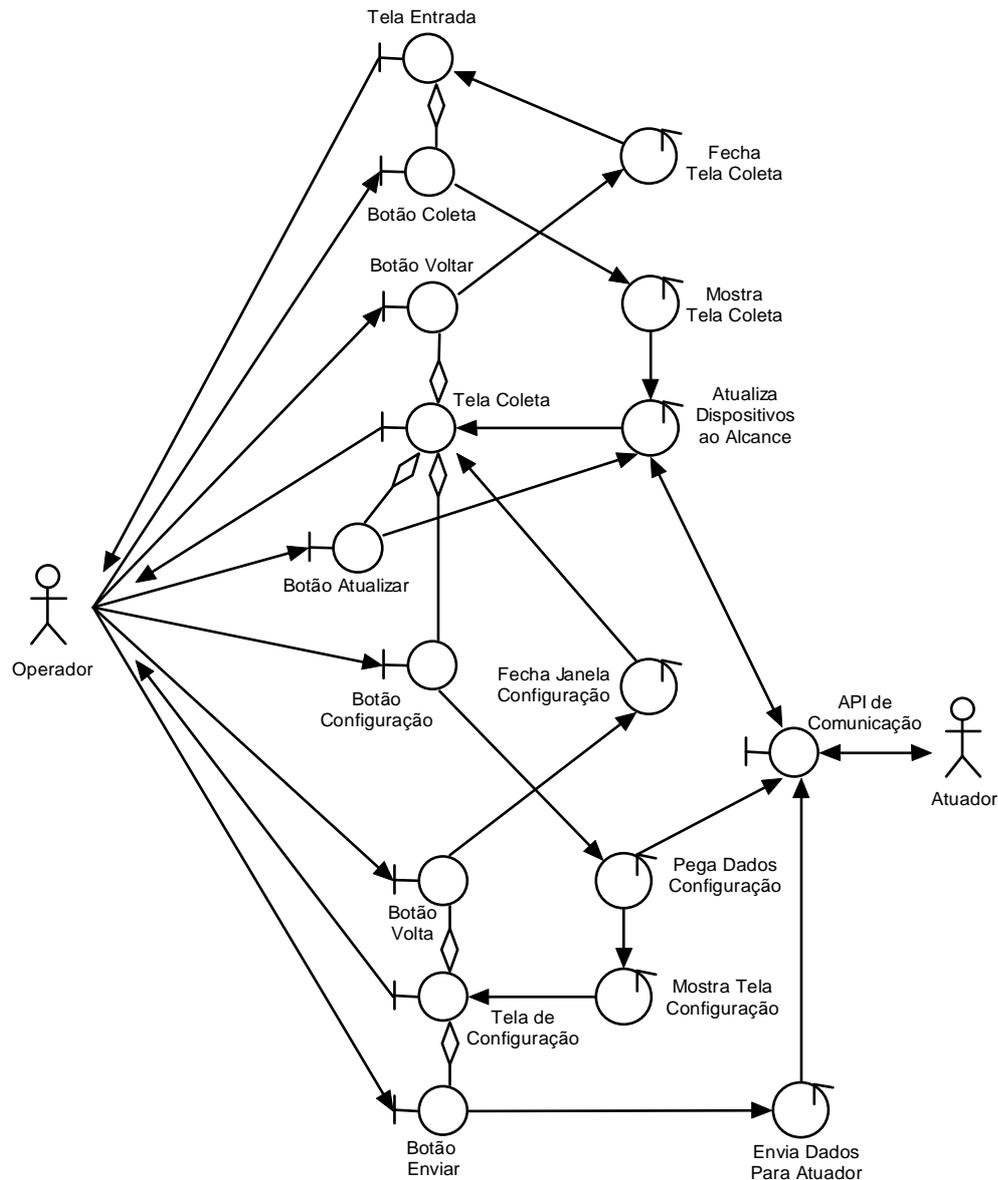


Figura 53 - Diagrama de Robustez (Configuração)

Detalhamento das Classes

A configuração do atuador através do PDA não foi implementada, pois cada modelo de controle possui parâmetros de configuração bem distintos, o que obrigaria ao desenvolvimento de telas diferentes para cada modelo. Está em avaliação um método de configuração em dois estágios, o primeiro com os parâmetros comuns a todos os modelos e a seguir uma tela com parâmetros configuráveis. Esses parâmetros configuráveis seriam enviados pelo próprio atuador durante a comunicação existente no processo de configuração.

6.2.3 Workflow de Projeto

No workflow de projeto são desenvolvidos os diagramas de colaboração e seqüência.

6.2.3.1 Modelo de Projeto

a) Sobre

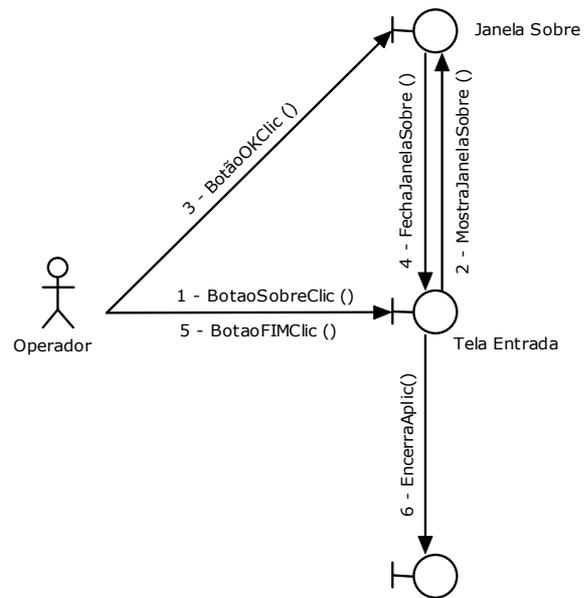


Figura 54 - Diagrama de colaboração (Sobre)

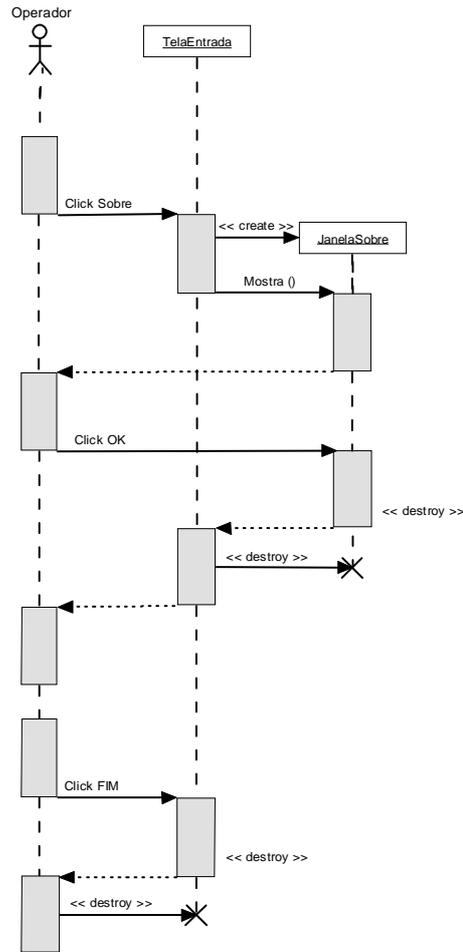


Figura 55 - Diagrama de Sequência (Sobre)

b) Coleta

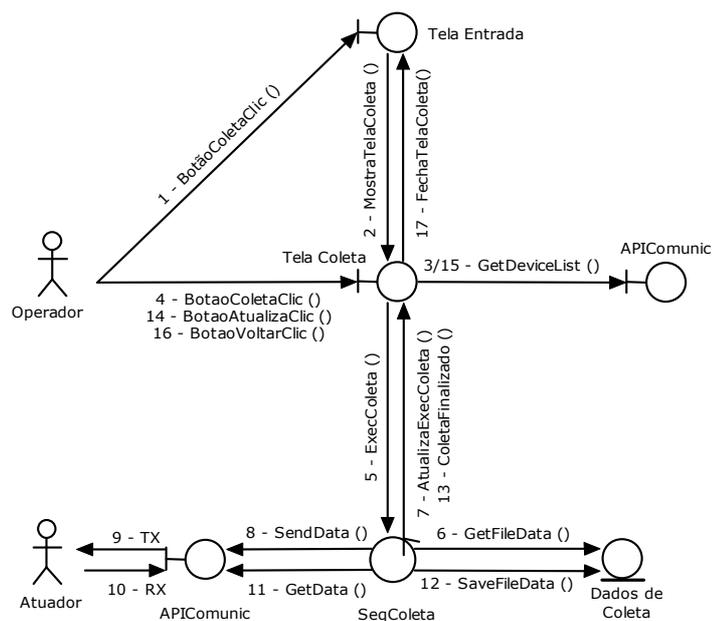


Figura 56 - Diagrama de colaboração (Coleta)

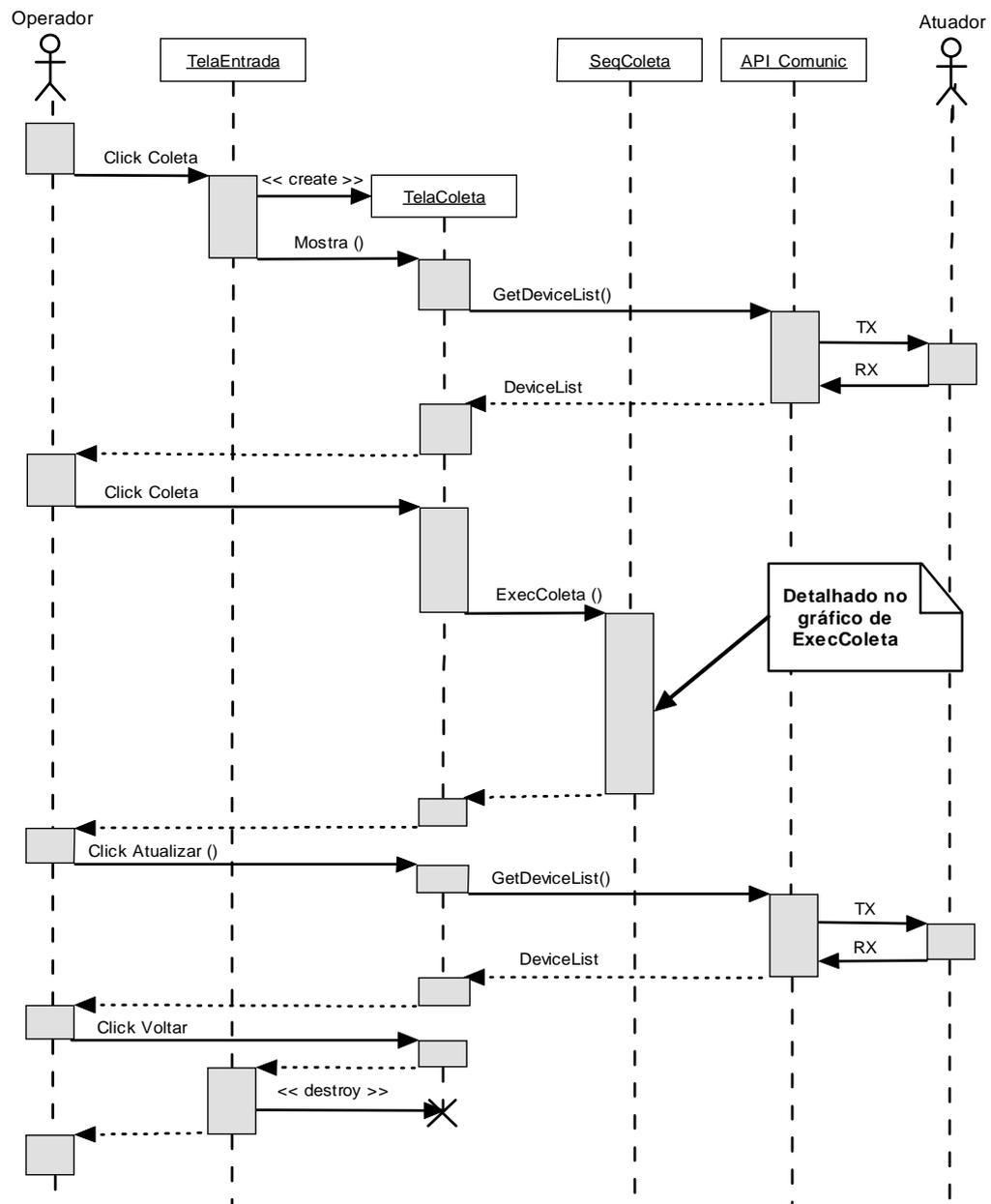


Figura 57 - Diagrama de Seqüência 1 (Coleta)

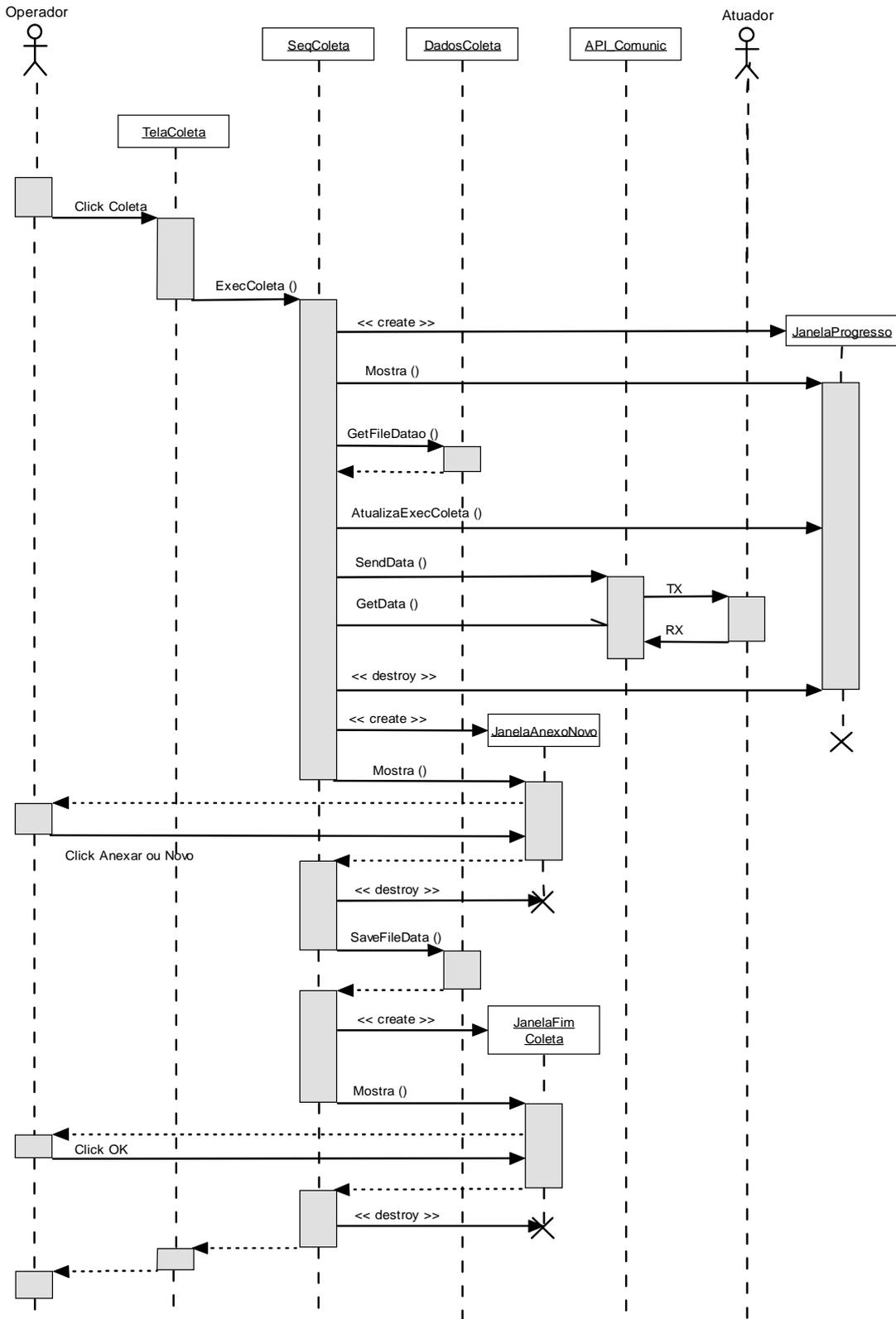


Figura 58 - Diagrama de Seqüência 2 (Coleta)

c) Seleção de Dados

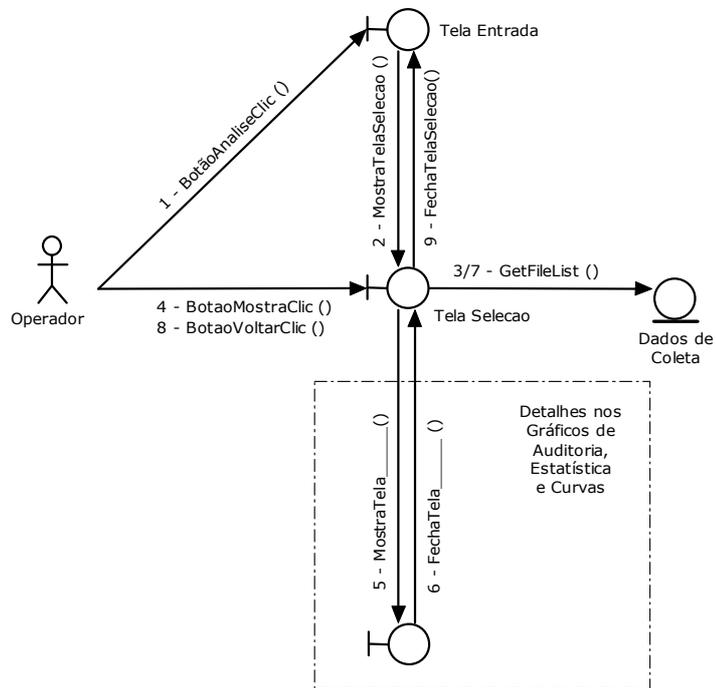


Figura 59 - Diagrama de colaboração (Seleção)

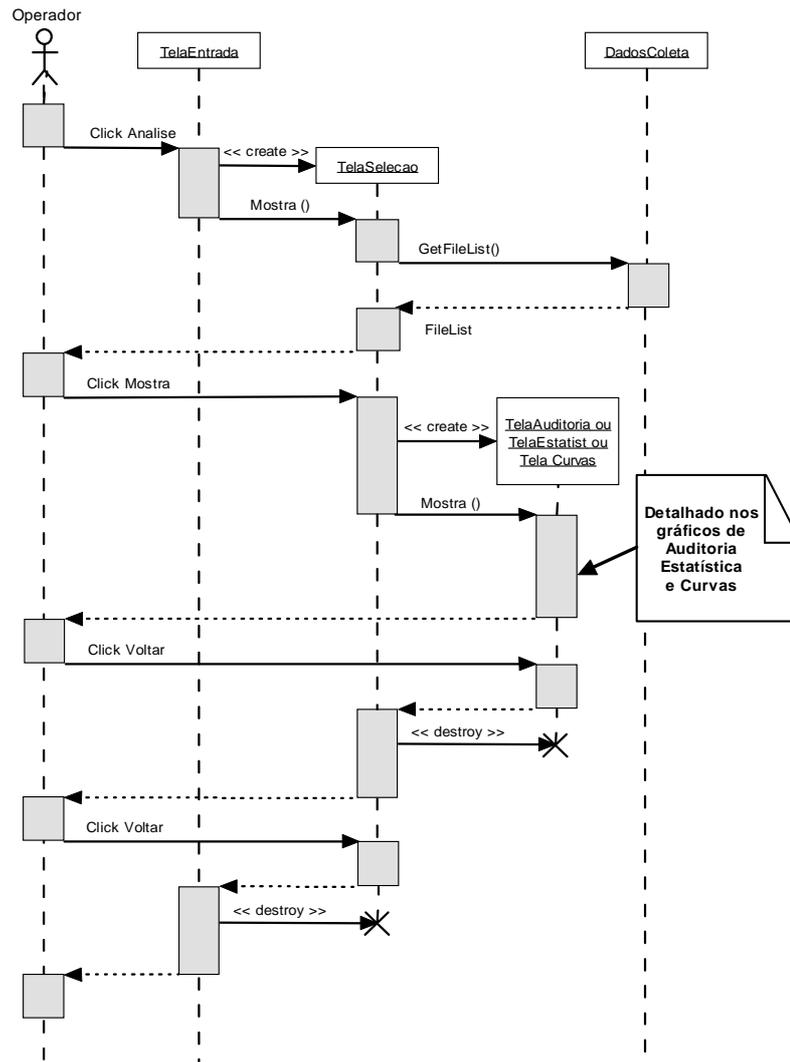


Figura 60 - Diagrama de Seqüência (Seleção)

d) Auditoria

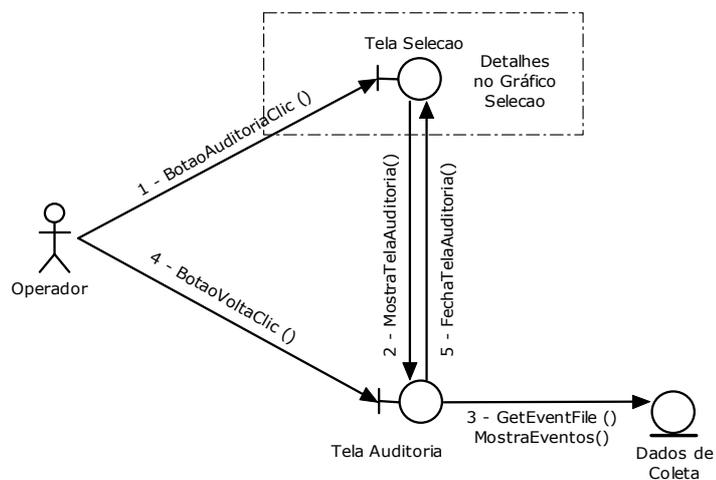


Figura 61 - Diagrama de colaboração (Auditoria)

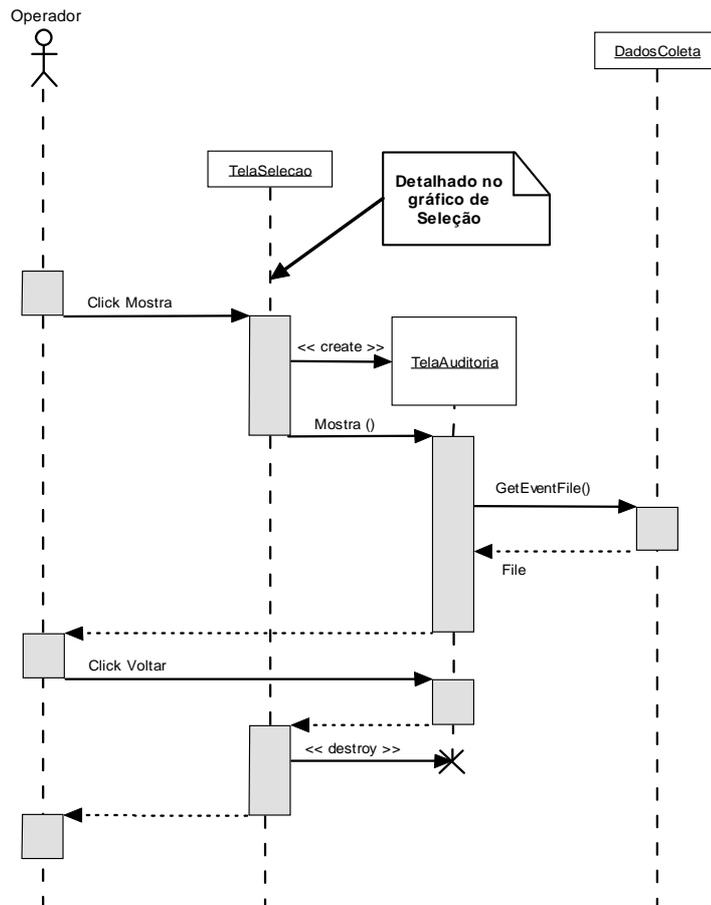


Figura 62 - Diagrama de Sequência (Auditoria)

e) Estatísticas

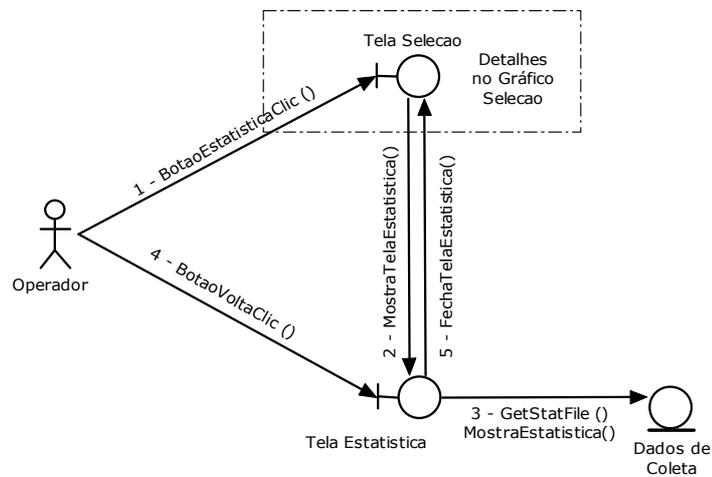


Figura 63 - Diagrama de colaboração (Estatística)

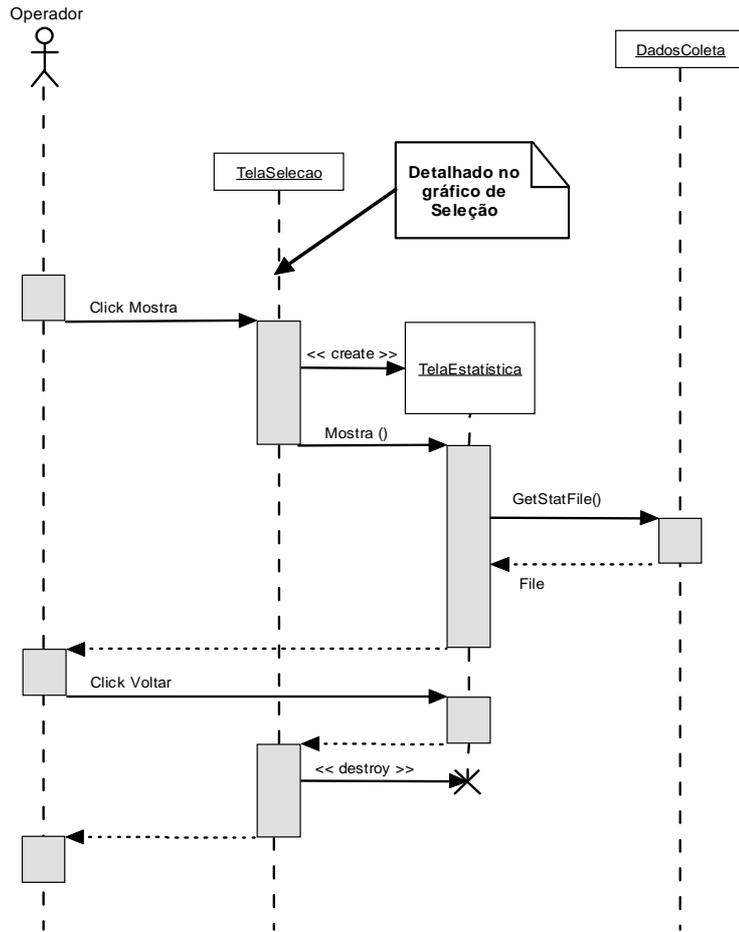


Figura 64 - Diagrama de Sequência (Estatística)

f) Curvas

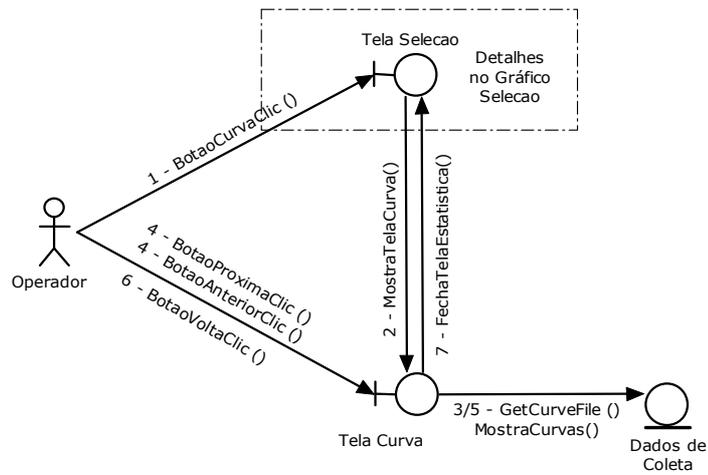


Figura 65 - Diagrama de colaboração (Curvas)

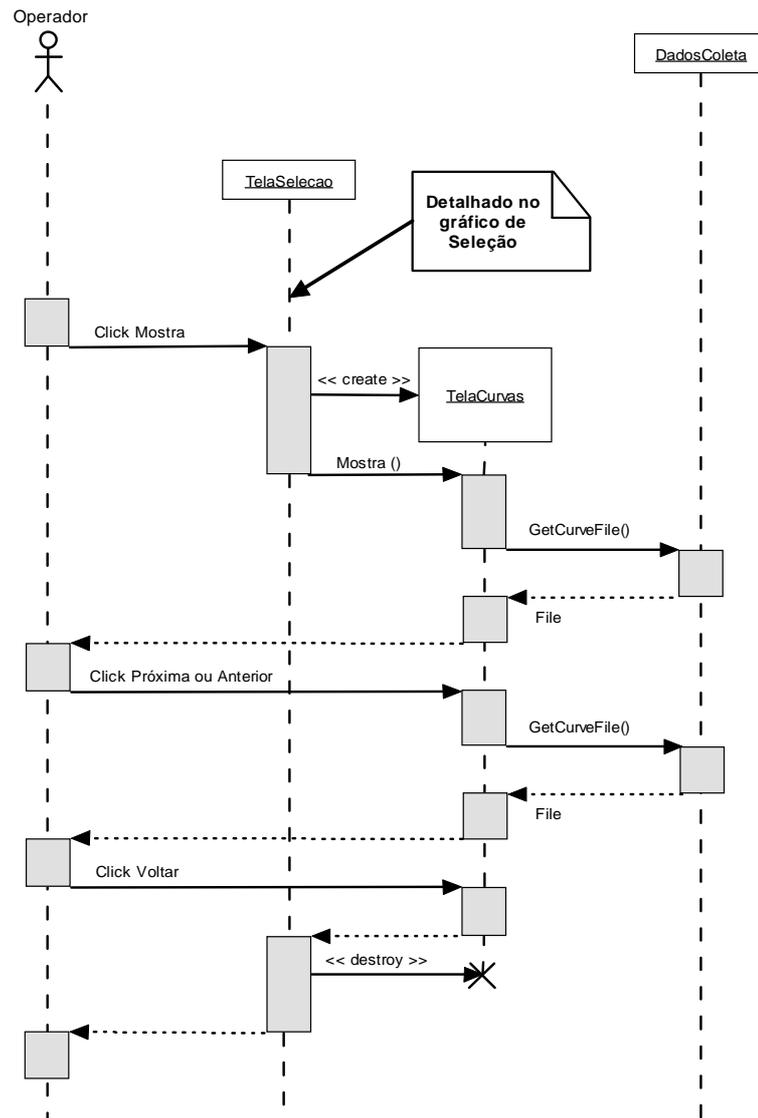


Figura 66 - Diagrama de Seqüência (Curvas)

g) Configuração

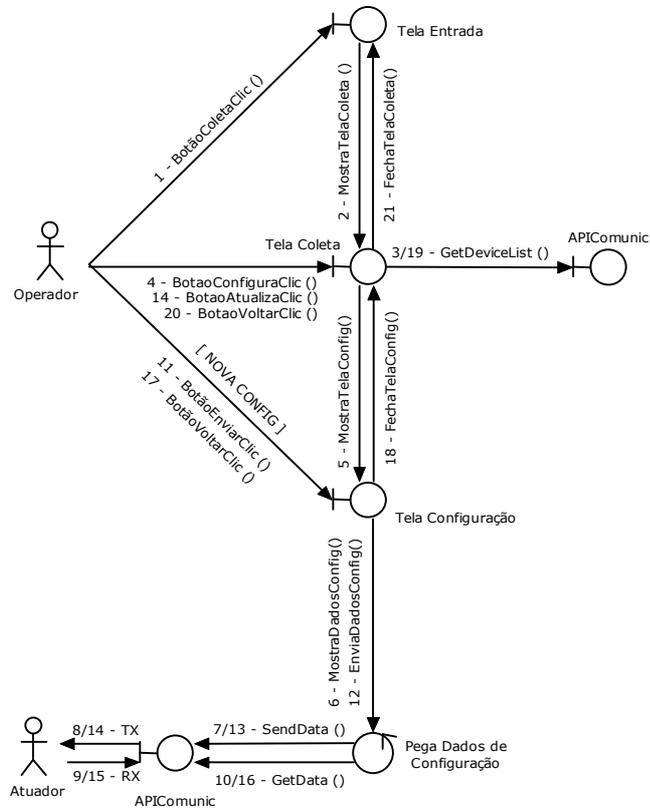


Figura 67 - Diagrama de colaboração (Configuração)

6.2.3.2 Modelo de Instalação

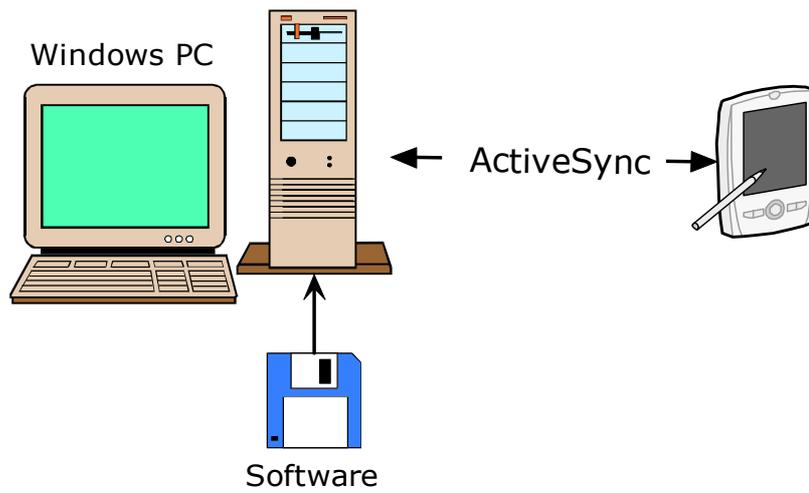


Figura 68 - Diagrama de Instalação

7 RESULTADOS

A operação em campo deverá contar com a utilização de um PDA com certificação Ex para utilização em áreas classificadas (JORDÃO, 1995). Esta é uma condição *si ne qua non* de uma operação real em uma refinaria que é uma das grandes aplicações de atuadores elétricos. Já existem equipamentos deste tipo no mercado com as mesmas características (Sistema Operacional e capacidade de comunicação *Bluetooth*) do equipamento utilizado no desenvolvimento. Na figura 69, a foto do PDA para utilização em área classificada.



Figura 69: PDA Certificado Ex

Na figura 70, é apresentado um diagrama da operação final do sistema como um todo; o coletor, com comunicação Bluetooth coleta os dados do atuador elétrico e depois o operador visualiza nas telas de auditoria e curvas de torque as informações necessárias para apoio a tomada de decisão quanto a necessidade de manutenção do equipamento.

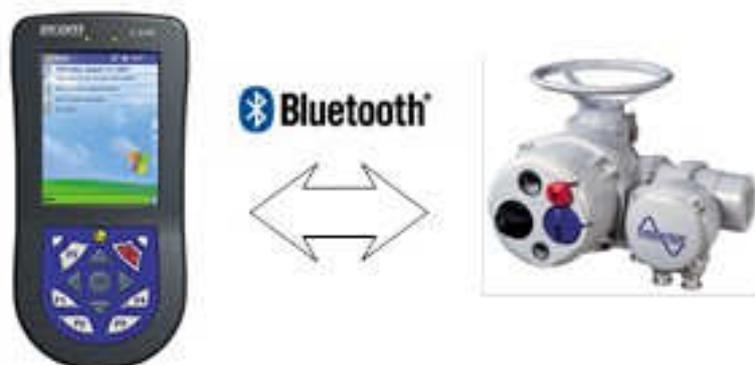


Figura 70: Diagrama de operação do sistema

7.1 Previsão de Novas Funcionalidades

O desenvolvimento deste sistema possibilitou avaliar uma série de novas funcionalidades que podem ser implementadas no futuro, entre elas pode-se destacar as seguintes:

7.1.1 Gráfico de Tendência

O gráfico de tendência é baseado em cálculos que resumem os valores de torque coletados no passado e no presente. Os valores são acumulados em períodos de anos, semestres e semanas da seguinte forma: são mostradas as 4 últimas semanas com uma barra para cada semana que totalizam o último mês, os 4 últimos trimestres como uma barra para cada trimestre, que totaliza o último ano e os quatro anos anteriores com uma barra para cada ano, totalizando no gráfico 5 anos e 1 mês. Na figura 71 é mostrada a tela do gráfico comparativo.

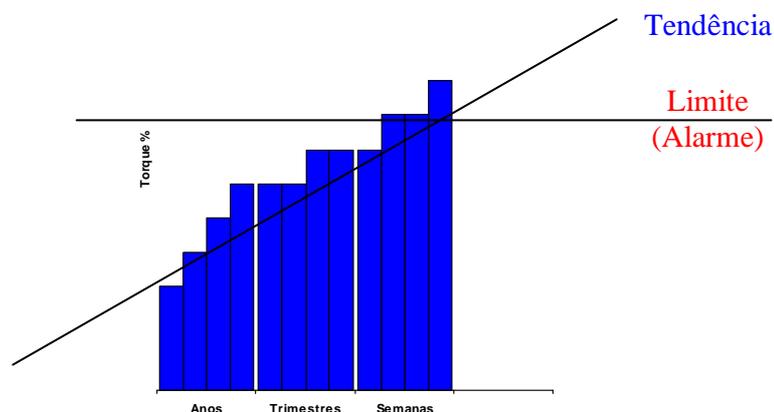


Figura 71 –Gráfico de Tendência

O gráfico de tendência permite avaliar “até quando” o equipamento vai funcionar dentro de determinados parâmetros. É possível verificar se existe alguma tendência de modificação do torque e pela razão de aumento (inclinação da reta), quando vai ocorrer algum problema. No gráfico da figura 71, existe uma clara tendência de aumento de torque que até já ultrapassou o limite máximo determinado. Por este gráfico, também é possível avaliar o quanto a condição geral do atuador se modificou desde sua instalação.

7.1.2 Gráficos de radar

Na figura 72, apresenta-se uma tela com gráfico de radar de uma situação típica de operação dentro de padrões pré-estabelecidos. Esta forma de visualização, permite identificar qualquer anomalia operacional de forma rápida e simples pois congrega em um mesmo gráfico, sete grandezas de operação e a deformação do gráfico representa uma anomalia.

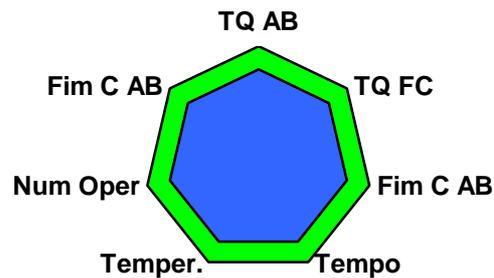


Figura 72 –Gráfico de Radar (Padrão)

Na figura 73, o gráfico de radar mostra uma anomalia no funcionamento do conjunto, é uma forma típica que caracteriza deposição de sedimentos na sede de uma válvula gaveta, com isto, a válvula não consegue chegar até o seu fim de curso programado, tendo uma elevação do torque quando atinge os sedimentos. Pode-se observar um aumento do torque necessário para o fechamento e uma diminuição do Fim de Curso de fechamento, ou seja atingiu antes o fim de curso e o tempo também diminuí devido à redução no curso da válvula.

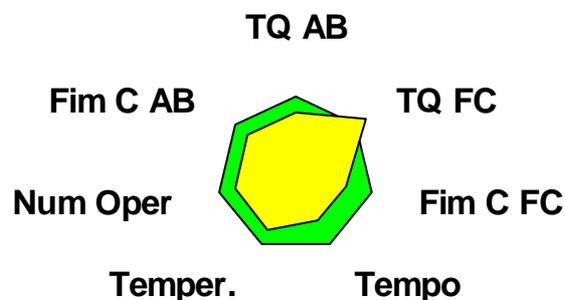


Figura 73 –Gráfico de Radar (Caso 1)

Já na figura 74, nota-se um excesso de operações por hora ou seja um regime de operação fora do especificado onde conseqüentemente houve um acréscimo da temperatura de operação do equipamento. Isso pode advir de uma malha de controle fora da especificação ou com problema em outros sensores ou processos.

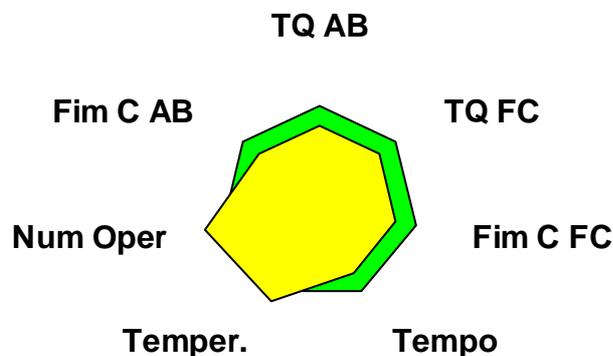


Figura 74 – Gráfico de Radar (Caso 2)

Os parâmetros de limite nos gráficos de radar, são configurados para cada conjunto atuador / válvula de forma que pode-se visualizar cada conjunto de forma padronizada. Ou seja, todos devem apresentar um formato padrão como o do gráfico da figura 72. Se houve uma mudança e esta se torna definitiva, pode-se acompanhar a variação futura, modificando os parâmetros limite. Por exemplo, no gráfico da figura 74, se o regime de operação passa a ser o que é mostrado no gráfico, o valor limite de numero de operações e temperatura, devem ser alterados para a nova realidade de forma que o gráfico se pareça ao formato padrão da figura 72.

8 CONCLUSÃO

Foi apresentada neste trabalho uma ferramenta de utilização simples que permite uma avaliação detalhada do estado de operação das válvulas e com capacidade de prognóstico.

Isso define uma ferramenta de manutenção preditiva para válvulas ou outros equipamentos acionados por um atuador elétrico com capacidade de medir e armazenar curvas de torque. Tais características permitem que o operador do processo consiga estabelecer um plano de manutenção para a planta levando em consideração não apenas um calendário (baseado em tempo ou utilização da válvula), mas sua condição real de operação.

Conseqüentemente, evita-se a retirada e manutenção de itens que não necessitariam de intervenção, mas que, em razão dela, passam a apresentar algum problema.

Outro ponto importante é a possibilidade de modificar o regime de operação da válvula para reduzir o desgaste e mantê-la em funcionamento até a próxima parada programada, nos casos em que se detecta algum problema futuro. Isso pode ser feito utilizando caminhos alternativos nos alinhamentos de válvulas ou ajustando o processo produtivo para os limites mínimos de forma que o tempo de operação do conjunto possa ser prolongado.

A metodologia de desenvolvimento do Processo Unificado empregada no desenvolvimento se mostrou adequada às necessidades do projeto que foi orientado a objetos.

A coleta de dados através de comunicação Bluetooth e utilização de um PDA possibilitou uma operação com extrema mobilidade e sem necessidade de conexão de cabos. Os testes de comunicação realizados em laboratório e a coleta de informações feitas por operadores que não receberam nenhuma instrução para tal, demonstraram que a operação do sistema é feita de forma intuitiva sem maiores dificuldades.

As avaliações feitas em curvas de torque permitiram avaliar que existem formas de apresentação dos dados que facilitarão a atividade de prognóstico que deve ser feita pelo usuário como foi demonstrado no capítulo de novas funcionalidades.

Pela aceitação do produto pela área de vendas da empresa o sistema deve ser comercializado junto com o lançamento da nova eletrônica dos atuadores no início de 2008, trazendo um grande diferencial competitivo aos atuadores a nível mundial.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 60529 - Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP)**. 2005. Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

SILVESTRE P. **Golpe de aríete: método gráfico**. Belo Horizonte: Ed. UFMG. 1988

HENNIG, Carlos H. **Integridade operacional utilizando barramentos de campo** - Revista Petro & Química - Edição nº 275 de Agosto de 2005

DJURDJANOVIC, D.; LEE, J.; NI, J. **Watchdog agent – Infotronics-based prognostic approach for product performance degradation assesstment and prediction**. *advanced engineering informatics*, disponível em: www.elsevier.com/locate/aei, v.17, n.5, p.109–125, 2003.

DJURDJANOVIC, D.; YAN, J.; QIU, H.; LEE, J.; NI, J. **Web-enabled remote spindle monitoring and prognostics**. International CIRP Conference on Reconfigurable Systems, [S.l.], n.D20, 2003.

LEE, J.; QIU, H.; NI, J.; DJURDJANOVIC, D. **Infotronics technologies and predictive tools for next-generation maintenance systems**. International Federation of Automatic Control (IFAC), Salvador, Brasil, Apr. 2004.

NUNES, E. L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC) – Análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PARRAGA, A. **Aplicação da transformada wavelet packet na análise e classificação de sinais de vozes patológicas**. 2002. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COELHO, L. S. **Metodologias de inteligência artificial aplicadas ao projeto de sistemas de controle e automação industrial**. 2001. Anais do ISA Show Brasil, São Paulo, São Paulo.

TINÓS, R. **Tolerância a falhas em robôs manipuladores cooperativos**. 2003. 228 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

VALINS, T. F. **Relé digital de distância baseado na teoria de ondas viajantes e transformada wavelet**. 2005. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

ROTORK. **Rotork Controls**, Site Disponível em: <http://www.rotork.com>. Acesso em 17 set 2007.

Tecnologia & Inovação para a indústria, Sebrae, 1999, página 152

Kardach, J.; **Bluetooth Architecture Overview**. 2000. 7p Mobile Computing Group – Intel Corporation – Intel Technology Journal – Q2 2000.

EmbeddedBlue Serial Firmware Reference Manual, 2006. 31p. A7 Engineering Inc. Califórnia, USA

Modicon Modbus Protocol Reference Guide, PI-MBUS-300 Rev J, June 1996. MODICON, Inc., Industrial Automation Systems, Massachusetts, USA

MODBUS. **MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.0**. 2002. <http://www.modbus.org> – Acessado em 15 set 2007

BLUETOOTH. **The official Bluetooth technology info site**. Disponível em: <http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Learn/Technology/Compare>. Acesso em 17 set 2007.

ERIKSSON, J.; COESTER, M.; HENNIG, C. **Redes industriais – panorama histórico e novas tendências**. Revista Controle & Instrumentação – Edição nº 119 – 2006

IrDA. **Welcome to IrDA**. Disponível em: <http://www.irda.com>. Acesso em 17 set 2007.

BISDIKIAN, C. **An Overview of the Bluetooth Wireless Technology**. IBM Research Report RC22109 - 6 June 2001– IBM Research Division – New York.

SCOTT, Kendall. **O Processo Unificado explicado**. 2003. 160p. Bookman, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I. **UML, guia do usuário**. 2000. 472p. Editora Campus, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

JORDÃO, D. M. **Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo: Atmosferas Explosivas**. 1995. 457p Markgraph, Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.