Encontro Técnico AESABESP
36º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

SISTEMA DE BOMBEAMENTO E DRENAGEM REDUNDANTE

Nome do Autor Principal[(1)]
Jose Luiz Bozzetto – engenheiro BCM Automação
Nome do Autor[(2)]
Flávio Costa Bianchi – engenheiro BCM Automação

Endereço[(1)]**:** Av. Ernesto Neugebauer 220 – Humaitá – Porto Alegre – RS – 90250-140 – Brasil - +55(51)33743899 - e-mail: jlbozzetto@bcmautomacao.com.br

RESUMO

As enchentes ocorridas em maio de 2024 no Rio Grande do Sul e especialmente em Porto Alegre geraram transtornos e prejuízos de toda ordem. No sistema ferroviário metropolitano de Porto Alegre ocorreram alagamentos em diversas estações e trechos de vias, o que ocasionou grandes prejuízos patrimoniais e operacionais. Este trabalho descreve o sistema de controle projetado para a drenagem pluvial de uma estação de bombeamento (EBAP) instalada com o objetivo de evitar o alagamento de um trecho considerável de via férrea e da própria estação.

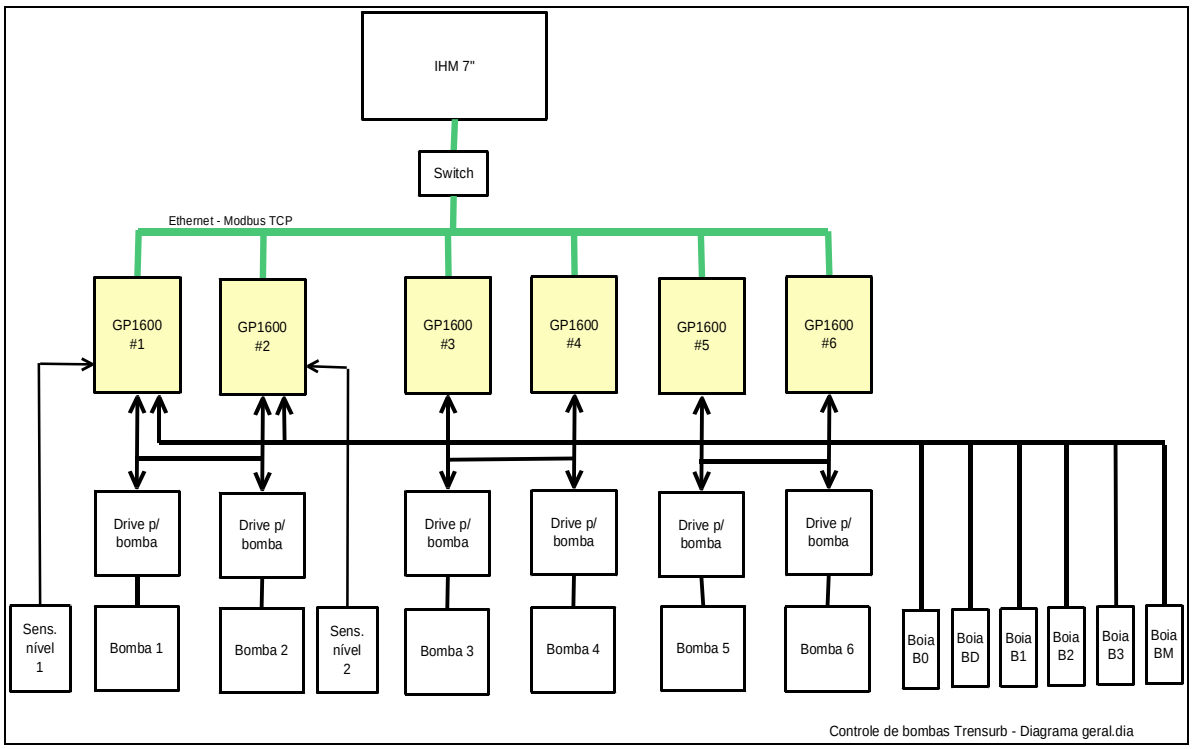
PALAVRAS-CHAVE: controle de bombeamento, sistemas redundantes, bombas de recalque, inteligência artificial, aprendizado de máquina, machine learning

1. INTRODUÇÃO

A estação de bombeamento em questão tem pavimentos situados em níveis abaixo da cota normal do Lago Guaiba. Isso faz com que normalmente ocorram infiltrações de água que devem ser constantemente drenadas. E, quando há uma incidência de chuvas elevada, a água acumulada nas vias pode atingir níveis críticos para a operação do tráfego dos trens urbanos.
O sistema de drenagem pluvial implementado nesta estação é composto por seis bombas, cada uma controlada por um painel de controle com um controlador programável, sistema de acionamento de velocidade variável para os motores das bombas, sistema de alimentação ininterrupta, chaves e botoeiras de comando manual e acessórios.
O nível de água é medido através de um sistema redundante de sensores hidrostáticos e boias de referência. Estas informações enviadas aos controladores permitem gerenciar o acionamento das bombas de forma gradual conforme o nível de água no reservatório de drenagem, a velocidade de elevação deste nível, a capacidade das bombas e o nivel de água considerado seguro. O sistema de controle possui recursos de redundância de operação, com uma ótica de ser à prova de falha simples, contando ainda com recursos para diagnóstico de problemas e predição de falhas para maximizar a confiabilidade.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE

Figura 1 – Arquitetura Geral do Sistema



2.1 - CARACTERÍSTICAS E FUNCIONALIDADES GERAIS

- Cada bomba é controlada primariamente por um dos seis controladores GP1600. O hardware e o software estão estruturados numa arquitetura de redundância cruzada, permitindo que, em caso de falha, o controle seja assumido pelo CLP vizinho;
- As bombas devem ser acionadas de forma acumulada em função do nível de água medido, da taxa de elevação e de algoritmos de aprendizado de máquina que buscam a maior eficiência do processo;
- A sequencia de acionamento das bombas deve seguir uma lógica de rodízio inteligente, de forma a que o tempo de operação do conjunto de bombas seja o mais uniforme possível, evitando desgastes concentrados do conjunto motor-bomba. Esse recurso contribui para a confiabilidade do sistema. Na operação normal (com rede AC presente) seguir a ordem:
  - - Ligar bomba 3 ou 6 conforme o horímetro;
  - - Ligar as demais bombas em sequencia conforme o horímetro;
  - - Na falta de energia, o acionamento segue uma sequencia programável de bombas;

- As estações 1 e 2 são as coordenadoras do processo, definindo (com redundância) quantas e quais bombas devem ser ligadas. As estações 3 a 6 somente recebem os comandos e controlam as respectivas bombas. A alocação do controlador a cada estação será parametrizada;
- A medição de nível é primariamente feita por dois sensores de pressão analógicos redundantes. Estão disponíveis também as informações de seis boias localizadas em níveis predeterminados. Os sinais digitais das boias servem como redundância, são usados para aferir a leitura dos sensores hidrostáticos de nível e também para permitir a operação (degradada) do sistema no caso de falha dos dois sensores hidrostáticos;
- É responsabilidade dos controladores 1 e 2 também detetar a falta de energia da rede e em função disso, executar a partida de dois geradores de emergência.
- Os IHMs dos controladores permitem uma leitura básica do status e condições de funcionamento e parametrização do canal correspondente. Também permite a seleção de operação manual/automático e o acionamento manual (via teclado do CLP) da bomba correspondente. Um IHM central consolida as informações de todos os locais e apresenta também informações gerais de desempenho;
- Os CLPs do sistema possuem cartão de memória permanente. Cada CLP registra periodicamente no cartão todas as informações relativas a sua operação (históricos). Os parâmetros de configuração de cada CLP também ficam armazenados no cartão;
- A rede de comunicação usa o padrão elétrico Ethernet 100BaseT e protocolo ModbusTCP. Esta rede é usada para que os CLPs repassem as informações entre si e com o IHM. Esta rede permite também a inclusão de produtos adicionais para viabilizar a integração do sistema a um supervisório, à internet ou conectá-la a um controlador adicional com recursos de ML focado na otimização do processo, detecção de falhas e manutenção preditiva;
- O sistema tem três modos de operação: automática, seguindo as lógicas previstas sem intervenção do usuário. Manual pelo CLP, onde o operador via display local pode ligar e desligar cada bomba. E totalmente manual, onde o CLP fica inoperante e a bomba é comandada diretamente por uma chave no painel;

2.2 - PONTOS DE E/S DOS CONTROLADORES

Entradas digitais

Número	Tag	Função
1	ED1	Estação vizinha operando
2	ED2	Estação vizinha em manual
3	ED3	Estação em manual
4	ED4	Bomba local operando
5	ED5	Bomba local em falha
6	ED6	Bomba vizinha operando
7	ED7	Bomba vizinha em falha
8	ED8	Rede AC presente
9	ED9	Gerador ligado
10	ED10	Paineis alimentados Ok
11	ED11	Boia nível crítico mínimo sem água (B0)
12	ED12	Boia com água - Desligamento (BD)
13	ED13	Boia com água - liga o gerador (B1)
14	ED14	Boia com água - liga uma bomba (B2)
15	ED15	Boia com água - liga duas bombas (B3)
16	ED16	Boia com água - liga todas as bombas (BM)

Entradas analógicas

Número	Tag	Função	Observações
1	EA1	Sensor de nível (pressão 4-20mA)	20mA corresponde a 20m água

Saídas digitais

Ponto	Tag	Função
1	SD1	Estação local com funcionamento Ok
2	SD2	Estação local em manual
3	SD3	Aciona bomba local
4	SD4	Aciona bomba vizinha
5	SD5	Sinaliza bomba local operando
6	SD6	Sinaliza falha (visual/sonoro)
7	SD7	Liga gerador e comuta rede

2.3 - DETALHAMENTO DAS LÓGICAS DE CONTROLE

- Se o controlador for o #1 ou o #2, a lógica de medição de nível estará ativada. A leitura analógica é filtrada, bloqueada para valores fora da faixa e convertida para nível em cm. As leituras de nível dos dois sensores está presente em todos os CLPs;
- Algoritmos especialistas analisam e validam a veracidade e confiabilidade de cada fonte de informação de nível, gerando alarmes em caso de discrepância e definindo qual delas será usada para calcular o número de bombas ligadas. A prioridade para considerar:
  - Sensores 1 e 2 com leituras válidas e próximas;
  - Sensor 1 dentro dos limites (comparado com as boias);
  - Sensor 2 dentro dos limites (comparado com as boias);
  - Indicação direta das boias;
- A partir da informação de nível, de taxas de variação ou de resultados dos algoritmos de aprendizado de máquina, são calculadas quantas bombas devem ser ligadas – Isso é feito a partir das tabelas nível X bombas e boias X bombas. Futuramente, outros critérios poderão ser agregados ao algoritmo (taxa de subida do nível, etc...);
- As boias ligadas às entradas digitais 11 e 16 são mandatórias para desligar(11) ou ligar(16) todas as bombas, sobrepassando os demais critérios;
- Com o número de bombas definido, o sistema calcula quais bombas devem ser ligadas/desligadas, considerando as bombas prioritárias, os horímetros e as bombas já ligadas. O resultado é distribuido pela rede de comunicação para a ação nas estações correspondentes. Cada alteração na configuração de bombas ligadas/desligadas tem um tempo de espera de 30s, a fim de evitar partidas/paradas muito seguidas das bombas. As bombas só são autorizadas a ligar se os paineis estiverem alimentados Ok (ED10=1);
- Cada CLP é responsável primariamente pela sua estação mas monitora o status da bomba da estação vizinha. Caso o acionamento da estação vizinha seja requisitado e não acione num prazo determinado (1 minuto), este CLP promove o acionamento para garantir uma redundância encadeada e cruzada no controle;

- No caso da falta de rede elétrica da concessionária, se a boia B1 estiver ligada, o CLP1 promove a partida do gerador 1. Caso a demanda de acionamento e consequentemente mais energia esteja sendo requisitada, o CLP2 promove a partida do gerador 2. Na volta da rede comercial, os geradores permanecem ligados por 30s a mais, com o objetivo de assegurar que essa volta está estabilizada. A operação individual de cada estação na falta de energia é garantida por pelo menos 5h através de um nobreak local;
- Na ocorrência de um alarme, uma saída específica comanda um sinalizador visual e/ou sonoro. Mesmo com o alarme ainda ativo, a saída pode ser desligada através do teclado (tecla FN, usada como cala alarme);
- Dois horímetros estão disponíveis por estação – um horímetro total contabiliza o tempo de operação da bomba - Este horímetro é usado como referência para a lógica de prioridades. Outro horímetro contabiliza somente o tempo de funcionamento da bomba com o gerador ligado – este é usado só para informação no IHM. O horímetro poderá ser zerado pelo usuário através do IHM local.

2.4 - OPERAÇÃO DOS IHMS

Os IHMs atuam como unidades de supervisão humana para o sistema. O IHM local de cada CLP apresenta informações específicas de cada estação, permitindo a leitura de status, alarmes, parametrização e controle manual da bomba.
O IHM central, gráfico, touchscreen e de maior resolução, apresenta informações consolidadas de todo o sistema.

IHM local do CLP

- ID da estação
- Nível 1 e 2
- Códigos de alarme;
- Status automático/manual e bomba ligada/desligada;
- Estado de “Paineis alimentados OK”, “Rede AC presente” e “Gerador ligado”;
- Número de bombas exigidas;
- Status e estatística da rede de comunicação;
- Horímetro total, horímetro com gerador e tempo do CLP ligado;
- Parametrizações gerais e locais;

IHM central

- Nível 1 e 2;
- Status das boias e Códigos de alarme;
- Status automático/manual e bombas ligadas/desligadas;
- Número de bombas exigidas;
- Bargraph mostrando os 6 horímetros, indicando os CLPs ligados via rede(azul) ou gerador(amarelo);
- Gráfico nível x tempo para os últimos 30 dias (gráfico deslizante);

3. METODOLOGIA DE PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

Para que o projeto fosse além de um simples controlador eletrônico para as bombas, algumas premissas foram estabelecidas para nortear o projeto:

Confiabilidade e redundância: Além do uso de seis controladores para seis bombas, o que por si só já aumenta a confiabilidade do sistema, foram implementados recursos de monitoração, controle e redundância cruzada, permitindo que caso haja a falha de um dos controladores, o controlador da bomba vizinha assuma o funcionamento.

Um ponto crítico de confiabilidade é a medição do nível de água – foram adotados dois grupos de sensores de diferentes tecnologias (boias e sensores hidrostáticos).

Modularidade: O sistema descrito prevê a instalação de seis bombas nessa estação. Considerando a expecativa de implementação de outras novas estações com maior ou menor número de bombas, o projeto tem uma estrutura modular, permitindo o aumento ou redução do número de bombas com facilidade, usando a mesma arquitetura e o mesmo software já aprovado.

Incrementos com novas funcionalidades: O sistema está sendo instalado oferecendo os recursos descritos no item 2 acima. No entanto, a partir da avaliação do desempenho real, a arquitetura escolhida permitirá a implementação de uma série de recursos adicionais voltados à otimização do consumo de energia, manutenção preditiva das bombas, dos demais sistemas e a capacidade de supervisão remota. Estas propostas estão mais bem detalhadas no item 5 abaixo.

4. RESULTADOS

O sistema apresentado resultou numa capacidade de operação mais confiável e preparada para uma eficientização maior no consumo de energia, manutenções preventivas e corretivas e operação redundante com manutenção dos níveis em patamares mais aceitáveis.

Quanto a confiabilidade: A múltipla redundância de sensores, o uso de vários controladores independentes e integrados, bem como a capacidade de controle cruzado das bombas deve permitir atingir um nível de disponibilidade próximo de 100%.

Quanto à manutenção: O sensoriamento adequado e os algoritmos adotados permitem que as equipes de manutenção sejam avisadas com antecedência sobre falhas em quaisquer pontos do sistema, sempre antes que essas falhas possam causar uma degradação significativa do desempenho.

Quanto à redução de custos: A disponibilidade próxima de 100% evita os prejuizos gerais normalmente causados no entorno pelas falhas nas estações de bombeamento. Os recursos amigáveis para a detecção de falhas associado ao caráter preditivo faz com que a manutenção seja planejável, mais rápida de executar e perca o caráter emergencial. E, por último, os algoritmos otimizados permitem uma economia de energia e o mínimo desgaste possível nas bombas, os quais são os principais custos de operação do sistema.

5. RECOMENDAÇÕES – APERFEIÇOAMENTO DO PROJETO

A arquitetura flexível adotada no projeto propicia a inclusão de novos módulos de hardware e software que irão aumentar o desempenho do sistema. Alguns pontos de aperfeiçoamento já estão em consideração:

Integração da comunicação entre estações: Com a implementação de diversas estações de bombeamento similares, torna-se importante a capacidade de supervisão remota integrada, visando a manutenção e subsidiar estudos para projetos de novas estações e estruturas físicas de drenagem;

Recursos de "Machine Learning" (ML): A incorporação de módulos de controle com capacidade de aprendizado de máquina irá criar uma nova perspectiva para manutenção e operação do sistema. A análise do grande volume de dados gerado pelo sistema (vazão de água, consumo de energia, acionamento de bombas, eventos adversos, etc.) pode ser integrado com informações externas (meteorologia, projeto da estrutura de drenagem, análise de imagens, registros de alagamentos), usando dados de treinamento prévio e em processo geram apontamentos e relatórios de grande valor para a manutenção preditiva das estruturas, eficientização do consumo de energia, planejamento das estruturas, etc. Esse módulo irá atuar também sobre a parametrização dos controladores, buscando o máximo de eficiência no funcionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTOLINI, Massimo et al. Machine learning for industrial applications: a comprehensive literature review. Expert Systems with Applications, [S.l.], v. 175, 114820, 2021.

2. BOZZETTO, Marcelo Unis. Gans para detecção de anomalias em séries temporais: um estudo de caso. 2021.

3. PREFEITURA DE PORTO ALEGRE – DEP – Caderno de encargos do Departamento de Esgotos Pluviais para projetos, serviços e implantação das redes de drenagem urbana. Disponível em: www.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/cd-dep-2005_1.pdf, 2005

4. SHARP, Michael. et al. A survey of the advancing use and development of machine learning in smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, [S.l.], v. 61, p. 528–544, 2021.

5. WANG, Jinjiang et al. Deep learning for smart manufacturing: methods and applications. Journal of Manufacturing Systems, [S.l.], v. 62, p. 738–752, 2022.

6. WATERANDWASTEWATER.COM - Pumping Stations: Essential Infrastructure for Water Management. Disponível em: https://www.waterandwastewater.com/pumping-stations-essential-infrastructure-for-water-management-2/ , 2024

7. XU, Jiawen et al. A review on AI for smart manufacturing: deep learning challenges and solutions. Applied Sciences, Basel, v. 13, n. 10, p. 5876, 2023.