

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CÁSSIO ROBERTO DA CRUZ JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DE IHM PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA O
SUPERVISÓRIO DA PLANTA SMAR PD3

Araxá
2026

Cássio Roberto da Cruz Júnior

**DESENVOLVIMENTO DE IHM PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA O
SUPERVISÓRIO DA PLANTA SMAR PD3**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Automação Industrial do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Duarte Fagundes

Coorientador: Prof.^a Dra. Fabiana Alves Pereira

Araxá - MG

2026

Cruz Júnior, Cássio Roberto da.
C957d Desenvolvimento de IHM para dispositivos móveis para o
supervisório da planta SMAR PD3 / Cássio Roberto da Cruz Júnior. –
2026.
59 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Duarte Fagundes.
Coorientadora: Profa Dra. Fabiana Alves Pereira.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais. *Campus* Araxá. Engenharia de
Automação Industrial, Departamento de Eletromecânica, Araxá, 2026.
Bibliografia.

1. Automação industrial. 2. Dispositivos móveis. 3. Internet das
coisas. 4. Servidores da web. I. Fagundes, Frederico Duarte. II. Pereira,
Fabiana Alves. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais. IV. Título.

CDU 681.5

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 1 / 2026 - DELMAX (11.57.05)

Nº do Protocolo: 23062.034956/2026-23

Araxá-MG, 07 de julho de 2026.

CÁSSIO ROBERTO DA CRUZ JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA DISPOSITIVOS
MÓVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de **Engenharia de Automação Industrial** do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, do Campus **Araxá**, como parte do requisito para obtenção do grau de Bacharel em **Engenharia de Automação Industrial**.

Aprovado em **19 de junho de 2026**.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Frederico Duarte Fagundes - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Profa. Dra. Fabiana Alves Pereira - Coorientadora
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Luis Paulo Fagundes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Me. Willian Martins Leão
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Henrique José Avelar
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 14:10)
FABIANA ALVES PEREIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 1281564

(Assinado digitalmente em 13/07/2026 09:30)
FREDERICO DUARTE FAGUNDES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 1107165

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 16:20)
HENRIQUE JOSE AVELAR
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 392234

(Assinado digitalmente em 08/07/2026 09:03)
LUIS PAULO FAGUNDES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 2993114

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 10:04)
WILLIAN MARTINS LEAO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 1291584

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 18:37)
CÁSSIO ROBERTO DA CRUZ JÚNIOR
DISCENTE
Matrícula: 20213003357

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **1**, ano: **2026**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão:
07/07/2026 e o código de verificação: **aaa98074b8**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que são meu porto seguro o Norte em minha vida. Em especial, dedico este trabalho às minhas tias Leandra e Marisa, que mesmo com suas ausências em vida me deram forças para construir o caminho que estou trilhando.

*“Sempre haverá estrelas iluminando o céu, mesmo que
você não as veja por causa dos dias nublados.”*

Luís Castro

RESUMO

A Indústria 4.0 e a Internet Industrial das Coisas demandam maior conectividade e mobilidade na automação, ampliando os requisitos dos sistemas SCADA tradicionais, historicamente restritos a estações fixas. No laboratório de Sistemas de Controle do CEFET-MG Campus Araxá, a planta didática multivariável SMAR PD3 opera sob um supervisório obsoleto e em desconformidade com padrões ergonômicos. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver e validar interfaces homem-máquina para dispositivos móveis para a referida planta didática. Para isso, este trabalho teve como método o desenvolvimento de um novo supervisório com base nas diretrizes da norma ISA 101. Com o novo supervisório, foram desenvolvidas as telas adaptadas para dispositivos móveis, e a disponibilização web foi realizada através do servidor *Microsoft* IIS e do módulo *Mobile Access*. Os resultados comprovaram a comunicação remota com a planta, superando a limitação física existente em supervisórios fixos e agregando conhecimento acadêmico e didático, ao disponibilizar esse recurso que alinha o aprendizado às tendências atuais de conectividade e portabilidade de sistemas.

Palavras-chave: Supervisório. ISA 101. Acesso móvel. Planta didática.

ABSTRACT

Industry 4.0 and the Industrial Internet of Things (IIoT) require greater connectivity and mobility in automation systems, expanding the requirements of traditional SCADA systems, which have historically been restricted to fixed workstations. At the Control Systems Laboratory of CEFET-MG Araxá Campus, the SMAR PD3 multivariable didactic plant operates under an outdated supervisory system that does not comply with current ergonomic standards. The main objective of this work was to develop and validate human-machine interfaces (HMIs) for mobile devices applied to this didactic plant. To achieve this goal, a new supervisory system was developed based on the guidelines established by the ISA 101 standard. Subsequently, mobile-adapted interfaces were created and made available through web access using Microsoft IIS and the Mobile Access module. The results demonstrated successful remote communication with the plant, overcoming the physical limitations of fixed supervisory systems and providing academic and educational benefits by offering a resource that aligns learning with current trends in connectivity and system portability.

Keywords: SCADA. ISA 101. Mobile access. Didactic plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Painel de controle e supervisão da Usina Nuclear de Chernobyl.....	19
Figura 2 - Diagrama P&I da planta didática SMAR PD3	24
Figura 3 – Tela de supervisório da planta PD3 via SYSTEM302.....	25
Figura 4 - Arquitetura adotada para funcionamento da portabilidade.....	26
Figura 5 - Ambiente de desenvolvimento do AVEVA Edge 2020 Educational	28
Figura 6 - Configuração da comunicação OPC através do AVEVA Edge	29
Figura 7 - Comando de verificação do IIS com retorno de erro.....	31
Figura 8 - Painel de Habilitação dos Recursos do Windows.....	32
Figura 9 - Painel de Habilitação dos Serviços da World Wide Web.....	33
Figura 10 - Default Web Site do IIS acessado pelo IP da máquina.....	34
Figura 11 - Runtime Task do Mobile Access após instalação.....	35
Figura 12 - Exportação das telas para HTML	36
Figura 13 - Aplicação do Mobile Access (MA) na subpasta do Default Web Site (IIS)	37
Figura 14 - Configuração de resolução na aba atributos de tela do AVEVA Edge	38
Figura 15 - Relação de área utilizável para a aplicação móvel	39
Figura 16 - Modo de zoom desabilitado nas configurações do Mobile Access, ecossistema do AVEVA Edge.....	40
Figura 17 - Visão geral de processo do supervisório desenvolvido	41
Figura 18 - Tela de nível dois, detalhamento do tanque de aquecimento	42
Figura 19 - Tela de nível dois, detalhamento do tanque de mistura.....	43
Figura 20 - Barra de alarmes no rodapé do supervisório.....	44
Figura 21 - Tela com histórico de alarmes	44
Figura 22 - Lista de tags utilizadas e atreladas às variáveis	45
Figura 23 - Lista de alarmes utilizados na aplicação.....	46
Figura 24 - Tela de nível dois do tanque de aquecimento	47
Figura 25 - Tela de nível dois do tanque de mistura	47
Figura 26 - Telas de gráficos	48
Figura 27 - Tela de alarmes desenvolvida (à esquerda) e tela de alarmes nativa (à direita)	49
Figura 28 - Alteração da tela nativa do Mobile Access.....	50

Figura 29 - Tela de menu desenvolvida para dispositivos móveis	51
Figura 30 - Interface do Mobile Access recebendo informações da planta.....	52
Figura 31 - Alterando a válvula do tanque de mistura para 100%	53
Figura 32 - Alarme sendo emitido em ambos os dispositivos.....	54
Figura 33 - Registro de mudança no nível na tela de gráficos	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	<i>Alarms and Events</i> – Alarmes e Eventos
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i> – Folha de Estilos em Cascata
DA	<i>Data Access</i> – Acesso de dados
HDA	<i>Historical Data Access</i> – Acesso de dados históricos
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> – Linguagem de Marcação de HiperTexto
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> – Protocolo de Transferência de HiperTexto
HTTPS	<i>HyperText Transfer Protocol Secure</i> – HTTP Seguro
IHM	Interfaces Homem-Máquina
IIOT	<i>Industrial Internet of Things</i> – Internet Industrial das Coisas
IIS	<i>Internet Information Services</i> – Serviços de Informação da Internet
IP	<i>Internet Protocol</i> – Protocolo de Rede
ISA	<i>International Society of Automation</i> – Sociedade Internacional de Automação
OPC	<i>Open Platform Communications</i> – Plataforma de Comunicação Aberta
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> – Controle Supervisório e Aquisição de Dados
SSL	<i>Secure Socket Layer</i> – Camada de Soquete Seguro
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> – Protocolo de Controle de Transporte
UA	<i>Unified Architecture</i> – Arquitetura Unificada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos.....	15
1.2.1	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Indústria 4.0	17
2.2	Sistemas SCADA	18
2.3	OPC UA.....	20
2.4	A norma ISA 101.....	21
2.5	AVEVA Edge 2020 Educational e seu Mobile Access	22
2.6	Microsoft IIS	23
2.7	Planta SMAR PD3.....	24
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	Desenvolvimento do supervisório	27
3.2	Comunicação via OPC UA.....	28
3.3	Infraestrutura de Servidor Web	29
3.3.1	Fundamentação da Arquitetura.....	30
3.3.2	Protocolo de Instalação e Habilitação de Recursos no Sistema Operacional...31	
3.4	Parametrização do AVEVA Edge Mobile Access	34
3.5	Design de interface para dispositivos móveis	38
3.6	Procedimento de validação	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	Desenvolvimento do supervisório	41
4.2	Design de interface para dispositivos móveis	45

4.3	Validação dos resultados	51
5	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

As indústrias sofreram grandes mudanças ao longo da história, através das conhecidas revoluções industriais. Estas transformaram a sociedade e a economia ao introduzir novos meios energéticos, como o uso do carvão no século XVIII ou a eletricidade, no século XIX, caracterizando a primeira e segunda revolução industrial, respectivamente. A terceira revolução industrial, demarcada pela segunda metade do século XX, trouxe como trunfo a introdução da automação de processos, hoje indispensável para empresas do ramo produtivo, sendo gancho para o atual momento em que vivemos, comumente conhecido como a quarta revolução industrial (Pasquini, 2020).

A quarta revolução industrial é o conjunto de tecnologias emergentes que remodelaram os padrões de produção anteriormente utilizados. A introdução do chamado IIOT (*Industrial Internet of Things*), recurso que mudou a forma de controlar, analisar dados e tomar decisões, é o marco que torna esta revolução diferente das anteriores ao integrar dispositivos físicos, digitais e até mesmo biológicos (Schwab, 2016). Essa integração é possível por meio de diversos sistemas do núcleo de automação industrial que compõem a arquitetura da Indústria 4.0, destacando-se os CLP (Controladores Lógicos Programáveis) e os sistemas supervisórios.

Os sistemas supervisórios desempenham papel fundamental no contexto da Engenharia de Automação Industrial ao permitirem monitoramento e controle de processos em tempo real, apresentando estes dados em interfaces intuitivas ao usuário. Também conhecidos como *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*), estes sistemas estão presentes em grande parte dos processos produtivos das indústrias, sendo empregados nas mais diversas áreas.

Os sistemas SCADA são responsáveis pela aquisição, armazenamento e disponibilização dos dados gerados pelos processos industriais e pelos dispositivos de campo. Essas informações são exibidas ao usuário em uma interface clara, consistente e de fácil interpretação, contribuindo para uma operação mais segura e eficiente (ANSI/ISA-101.01, 2015). Dessa forma, os sistemas supervisórios permitem a identificação das variáveis envolvidas no processo, e exercem a função de integração entre operador e sistema, por meio das IHM (Interfaces Homem-Máquina).

De modo geral, principalmente em empresas mais tradicionais, os supervisórios são disponibilizados apenas em estações fixas de trabalho, demandando que haja um operador dedicado à observação dos parâmetros em uma sala de controle. Tendo em vista o crescimento tecnológico proveniente da quarta revolução industrial e a alta demanda por conectividade entre os dispositivos de plantas industriais, surge a possibilidade de transformar a maneira como

interagimos com os dados que recebemos dos supervisórios, adicionando flexibilidade e eficiência na análise deles. Uma maneira de alcançar esse nível de conectividade é explorar a integração destes sistemas a modelos de portabilidade para dispositivos móveis.

Para a execução deste projeto, foram desenvolvidas interfaces homem-máquina (IHMs) para dispositivos móveis, destinadas à supervisão da planta didática SMAR PD3, localizada no Laboratório de Sistemas de Controle do CEFET-MG Campus Araxá. Dentre as plantas disponíveis na instituição, optou-se pela PD3 por se tratar de uma planta multivariável, com recursos didáticos de instrumentação, controle e supervisão de processos. A planta PD3 é amplamente utilizada no curso de Automação Industrial e já vem sendo alvo de diversos estudos, projetos e aplicações, por parte de outros alunos. Alguns desses projetos foram desenvolvidos devido à carência existente no sistema supervisório original da planta, que está em desconformidade com a norma ISA 101. Outra limitação é que o sistema supervisório original só pode ser utilizado com a licença física que o CEFET-MG dispõe, em um sistema operacional defasado (Windows 7). Esses aspectos geram uma lacuna no conhecimento dos discentes que teriam que utilizar um sistema defasado e fora dos padrões atuais (Ribeiro, 2025).

Além disso, para desenvolvimento do sistema supervisório utilizou-se a plataforma AVEVA™ Edge. Esta plataforma foi escolhida em detrimento das demais, porque possui acesso gratuito para fins educativos e já tem sido utilizada para modernização do sistema SCADA da planta PD3. Além disso, destaca-se que o AVEVA Edge é uma plataforma que apresenta alta flexibilidade, podendo ser instalada nos mais diversos sistemas operacionais, tais como Linux, Windows e MacOS. O AVEVA é amplamente utilizado em indústrias, sendo, portanto, uma plataforma consolidada no cenário da automação industrial, fazendo com que a sua utilização no projeto permita que o conhecimento sobre essa plataforma seja extrapolado para contextos reais (AVEVA, 2020).

1.1 Justificativa

A crescente adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0 e à Internet Industrial das Coisas (IIoT) tem ampliado a importância da conectividade e da mobilidade nos sistemas de supervisão industrial. Nesse contexto, o acesso remoto a informações de processo por meio de dispositivos móveis torna-se uma alternativa relevante para aumentar a flexibilidade operacional e a integração entre diferentes níveis de automação.

Diante desse cenário, este projeto propõe o desenvolvimento de interfaces homem-máquina (IHMs) para dispositivos móveis aplicadas à planta didática SMAR PD3. Além de

demonstrar a viabilidade técnica da supervisão móvel em ambientes industriais, a solução proporciona aos estudantes do curso de Engenharia de Automação Industrial contato com tecnologias amplamente utilizadas na indústria contemporânea. Dessa forma, o projeto contribui para a formação acadêmica dos discentes, aproximando o ambiente de ensino das tendências e demandas atuais do setor industrial.

1.2 Objetivos

Tendo em vista a lacuna tecnológica exposta no supervisório localizado na planta didática PD3 da SMAR, o objetivo deste projeto é não só modernizar o sistema SCADA presente na planta, mas adicionar recursos que aumentam ainda mais o avanço que se busca obter no laboratório de controle e automação. Para atingir o objetivo proposto, foi desenvolvido um sistema supervisório moderno, que segue as práticas mais recentes da norma ISA 101 e, como adição ao ensino, agregar portabilidade do supervisório ao integrá-lo com dispositivos móveis, como tablets e celulares.

1.2.1 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, serão utilizadas etapas sucessórias e de igual importância, quais sejam:

- Desenvolver um supervisório para a planta didática SMAR PD3 com base na norma ISA 101;
- Realizar a comunicação do supervisório desenvolvido com a planta didática, utilizando o protocolo OPC UA;
- Instalar e configurar o *Microsoft* IIS, recurso essencial para que as telas de supervisório possam ser vistas através de outros dispositivos;
- Configurar o Mobile Access, delimitando as informações que serão passadas para os celulares e tablets, evitando falhas de responsividade e excesso de informações em telas de visualização limitada;

- Desenvolver interfaces para dispositivos móveis com base nas diretrizes da norma ISA 101, organizando as informações de maneira clara e direta para *smartphones*, assegurando uma visualização facilitada dos elementos.
- Testar e validar a comunicação (leitura e escrita) das variáveis via *Mobile Access*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0

O percurso histórico das indústrias, caracterizado pela transformação da forma na qual os humanos utilizavam os recursos disponíveis na época (carvão, na primeira revolução industrial e energia elétrica, na segunda) é o fator principal para a chegada do que conhecemos hoje como a era da conectividade. Utilizando do avanço no ramo de automação, que caracteriza a terceira revolução industrial, alcançou-se um momento na história das indústrias em que a integração físico-digital está amplamente atuante nas empresas do século XXI. É por meio de tecnologias como *big data*, computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética que hoje podemos apresentar a Indústria 4.0 como realidade (Pasquini, 2020).

A indústria 4.0, também conhecida como a quarta revolução industrial, está sendo um marco de transformação na forma com que as indústrias se comportam em relação aos processos produtivos, integrando fortemente a IIoT, automação avançada e conectividade entre dispositivos do meio físico ao meio digital. No momento atual da tecnologia, a adoção das mais modernas práticas que caracterizam esta quarta revolução industrial é o que diferencia empresas no quesito competitividade e produção, tornando-se então um pilar do crescimento econômico, principalmente em países emergentes como o Brasil (Souza, 2025).

À medida que cresce o entendimento sobre a relevância que este tema tem ganhado, tecnologias-chave começam a ser criadas e a utilização destas se torna indispensável para o real ganho em eficiência nas indústrias. Um dos grandes pilares dessa revolução tecnológica que acompanha a Indústria 4.0 é a automação de processos, que vem fortemente aliada a *big data*, onde grandes quantidades de informações, geralmente armazenadas em nuvem, podem ser recebidas dos sistemas automatizados e retidos para uso posterior em análises ainda mais precisas e criteriosas sobre os processos de uma planta (Cimino; Nascimento, 2025). Desta forma, a quantidade de informações que circulam nos sistemas de indústrias que estão se adequando aos novos paradigmas é enorme e alimenta em demasia outras tecnologias adjacentes que já vinham sendo utilizadas anteriormente, como os sistemas de supervisão e aquisição de dados, tornando a tomada de decisões ainda mais eficiente (Mendes, 2023).

Analisando a forma na qual tecnologias como *big data* estão sendo cada vez mais responsáveis pelos avanços produtivos das indústrias, servindo de grande auxílio também aos sistemas supervisórios, cria-se outra grande integração que pode alavancar ainda mais a

flexibilização no controle de processos, que é a conectividade e a mobilidade da análise destes dados que estão disponibilizados em enormes quantidades.

A indústria 4.0, historicamente, é composta por empresas que adicionam recursos do novo paradigma aos antigos sistemas que ali já existiam, deixando com que os comumente chamados de “legados” não se tornem completamente obsoletos, tampouco inseguros, uma vez que a obsolescência está comumente associada a falhas de segurança nos dispositivos mais antigos, devido à falta de atualização dos mesmos (Leite, 2019). Isso faz com que a implementação de recursos tecnológicos avançados seja também uma forma de manter os processos confiáveis e livres de ataques cibernéticos (Khan et al., 2020). Portanto, a adição do que entendemos por “conectividade” como característica da Indústria 4.0 é uma forma de elevarmos o nível de integração físico-digital, corroborando com a portabilidade de sistemas amplamente utilizados nas indústrias, como os sistemas SCADA.

2.2 Sistemas SCADA

Os sistemas SCADA são hoje fundamentais para um sistema de automação industrial. É por meio destes que se pode exibir informações do meio físico de um processo e posteriormente analisá-los para a tomada de decisão. O SCADA também permite armazenar essas informações para um controle sobre as ocorrências dentro do processo industrial (Boyer, 2004).

Antes do grande avanço tecnológico que tivemos nas últimas décadas, os sistemas supervisórios eram telemétricos, ou seja, baseados em sistemas analógicos de painéis, como exemplificado na Figura 1. Estes painéis eram chamados de painéis sinóticos, e continham lâmpadas, amperímetros, voltímetros e medidores de pressão para indicar o estado dos equipamentos e do processo. Os painéis limitavam significativamente a análise do processo como um todo (Coelho, 2010).

Figura 1 – Painel de controle e supervisão da Usina Nuclear de Chernobyl



Fonte: (Silva, [S.d.])

A partir da análise do arquétipo dos antigos supervisórios, Coelho (2010) faz um paralelo com os sistemas modernos de supervisão, destacando como as tecnologias de comunicação influenciaram na aquisição de dados, ao disponibilizarem essas informações mesmo em estações de trabalho que estão dispersas, por meio de interfaces homem-máquina amigáveis ao usuário, facilitando no entendimento do que ali é visto. Além do mais, os sistemas supervisórios mais modernos conseguem armazenar, através da comunicação, as chamadas *tags*, que são todas as variáveis que fazem parte do processo a ser supervisionado, podendo também realizar operações matemáticas, funções e lógicas de programação.

Dito isso, a evolução dos sistemas SCADA é constante. A chegada da quarta revolução industrial elevou o nível de tecnologia até mesmo do que antes já era consolidado nas indústrias. Souza, Torres e Araujo (2023) comentam que a Indústria 4.0 requisita, nos dias de hoje, interoperabilidade e integração vertical e horizontal de sistemas. Isso também significa que outros dispositivos devem ser capazes de operar o supervisório, mesmo em acessos remotos.

Essa visão sobre como a integração de sistemas tem mudado a forma que se comporta a conectividade já chamava a atenção de pesquisadores antes mesmo da popularização do termo Indústria 4.0. Paiola (2012) já indicava que a tecnologia de acesso remoto aos supervisórios é

viável, pois permitiam que os responsáveis operassem o supervisão mesmo enquanto estão fora do posto de trabalho. Ao analisarmos que, mesmo há mais de uma década, já havia estudos dos recursos de portabilidade dos sistemas SCADA, hoje com o acesso a tecnologias de ponta ainda mais facilitado podemos utilizar softwares gratuitos e nativos de serviços confiáveis para viabilizar essa conexão, como o AVEVA Edge 2020 e o *Microsoft IIS (Microsoft Internet Information Services)*.

2.3 OPC UA

Diante do avanço da Indústria 4.0, temas como flexibilidade, adaptabilidade e interoperabilidade de sistemas entraram em alta. É nesse contexto que se estabeleceu o OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*), normatizado internacionalmente pela norma IEC-62541 e apresentado como uma evolução do OPC clássico, quebrando o paradigma de comunicação industrial ao eliminar algumas das restrições estruturais do modelo anterior. Uma dessas restrições era a dependência ao ecossistema *Microsoft Windows* para o funcionamento do antigo padrão, já que o OPC clássico se baseava em tecnologias proprietárias da *Microsoft*. Esse foco do OPC clássico em relação às tecnologias da *Microsoft*, como o COM (*Component Object Model*) e o DCOM (*Distributed Component Object Model*) foi apontado por Cavalieri e Chiacchio (2013) como uma limitação que tornava este protocolo praticamente inviável para o cenário atual, onde compartilhamento de dados entre domínios é uma realidade.

A superação de tais limitações veio a partir da OPC Foundation, que redesenhou a forma como o OPC se comportava, eliminando a dependência de plataformas proprietárias e encapsulando os dados em protocolos de transporte amplamente difundidos, como o TCP/IP e serviços *web* baseados em HTTP/SOAP ou JSON (Schleipen et al., 2016). Schleipen (2016) indica a arquitetura unificada do OPC como uma tecnologia chave para uma representação transparente e transmissão de dados entre componentes de diferentes proprietários.

O OPC UA unifica as tecnologias do OPC clássico para acesso de dados, como OPC DA (*Data Access*), que permite que o cliente acesse os dados de processo no servidor em tempo real; OPC AE (*Alarms and Events*), que é usada especificamente para informações críticas, como alarmes e eventos programados; e OPC HDA (*Historical Data Access*), usada para acessar dados históricos do processo. Além disso, OPC UA também lida com uma gama de aspectos muito maior que apenas um simples acesso de dados, como era o OPC clássico, trazendo ferramentas de segurança, alarmes, controle de acesso e dados históricos de um sistema (Sommer, 2025).

Portanto, o OPC UA foi desenvolvido através da OPC Foundation para suprir as necessidades dos novos sistemas que surgiram ao longo dos últimos anos. As especificações desse protocolo foram moldadas para garantir uma arquitetura de plataforma aberta e que garantisse escalabilidade (OPC Foundation, [S.d.]).

2.4 A norma ISA 101

A norma ISA 101 vem como uma diretriz de padronização das interfaces homem-máquina dos supervisórios modernos. Propostas centradas no usuário, padronização de objetos, cores e animações são pilares para que os erros humanos na análise dos dados sejam minimizados. Como sugere a própria norma (2015), seu documento serve como um guia para o *design*, construção, operação e manutenção das interfaces criadas.

Portanto, é de foco especial a usabilidade do operador, visto que informações facilitadas farão o processo mais eficiente ao agilizar a tomada de decisão das equipes de campo. Por exemplo, alarmes (criticidade alta) são sugeridos serem de cor forte, chamando mais atenção do operador, ajudando o mesmo a ter uma resposta mais rápida ao acontecimento. A padronização é um fator fundamental até mesmo na segurança operacional, visto que alarmes que são ignorados podem causar danos irreversíveis, sejam eles materiais, ambientais ou humanos.

Dessa forma, embora possa parecer pouco comum, há graves registros de segurança envolvendo erro proveniente da falha sobre a análise de um sistema supervisório. Um dos mais conhecidos acidentes foi a explosão da refinaria da *British Petroleum*, em Texas City. A explosão ocorreu por um conjunto de fatores, incluindo uma falha de alarme no sistema supervisório, quando a torre é preenchida além do seu limite (Gurung et al., 2020).

A padronização de IHMs, portanto, é fundamental, e compreendido a relevância do uso de sistemas SCADA no atual contexto da Indústria 4.0, a aplicação destas diretrizes favorece a análise de dados com menor erro. Essa responsabilidade também se transfere quando falamos de conectividade, portabilidade e flexibilidade dos sistemas, visto que o padrão adotado deve abranger todos os sistemas operacionais, e todos os dispositivos que serão utilizados para a visualização deste sistema supervisório (ANSI/ISA-101.01, 2015).

Embora a norma não forneça, especificamente, regras sobre dispositivos portáteis, os princípios de consistência visual devem ser mantidos para todas as telas, e isso inclui a adaptação destas para a portabilidade em celulares e tablets, por exemplo. Posto isso, o uso de

dispositivos móveis não adiciona, mas também não exclui a necessidade de manter suas padronizações.

2.5 AVEVA Edge 2020 Educational e seu Mobile Access

O AVEVA Edge é um software de desenvolvimento SCADA, projetado para a construção desde telas individuais de IHM até complexos sistemas de supervisão, critérios que fortalecem o software no contexto de automação industrial para estudantes da área. Anteriormente conhecido como InduSoft Web Studio, este programa tem foco na portabilidade, interoperabilidade e mobilidade, recursos essenciais para o trabalho desenvolvido neste documento. Sua versão educacional oferece acesso aos módulos principais que garantem que este seja amplamente usado para o ensino em universidades ou treinamentos, permitindo testes práticos que enriquecem conhecimentos técnicos esperados de futuros engenheiros e projetistas (AVEVA, 2020).

O ponto focal deste trabalho é um dos grandes diferenciais do software escolhido para o projeto, que é sua portabilidade para dispositivos móveis através do recurso *Mobile Access*, que permite que as telas de supervisórios desenvolvidas para computadores ou estações fixas de trabalho possam ser usadas em diferentes *hardwares*, inclusive em outros sistemas operacionais comentados anteriormente (Linux, MacOS) (“AVEVA Edge”, 2021). Essa portabilidade ganha um grau ainda mais interessante quando disponibilizamos essas telas para celulares e tablets, elevando a portabilidade a outro nível, principalmente ao analisarmos o presente momento da quarta revolução industrial, onde conectividade e internet das coisas caminham lado a lado e protocolos de comunicação e rede são recursos chave para o avanço destas tecnologias (Kumar; Rani; Awadh, 2022).

Desta forma, o Mobile Access do AVEVA Edge 2020 traz consigo um pilar fundamental quando falamos de conectividade, visto que o software permite que as telas criadas sejam transformadas em arquivos HTML, ou seja, podem ser disponibilizadas em sites web com a integração aos recursos do *Microsoft IIS*. Ao criarmos arquivos que serão parte de um website e, dessa forma, podem ser acessados por qualquer navegador, então criamos uma tela de supervisório que pode ser acessada por dispositivos que estejam na mesma rede local.

2.6 Microsoft IIS

Uma das bases que permitiu que se tenha feito a integração destes sistemas para a portabilidade do supervisório e suas telas é o *Microsoft* IIS. Este recurso, também conhecido como Serviços de Informação da Internet, é um servidor web da *Microsoft* que permite a criação e hospedagem de conteúdos estáticos ou dinâmicos, aplicações web, serviços como streaming e FTP (*File Transfer Protocol*, ou em português, protocolo de transferência de arquivos) e até mesmo SMTP (transferência de e-mails) (Volodarski, 2022).

O servidor com o recurso IIS permitiu que fosse utilizado o próprio IP como endereço de acesso de outros dispositivos na mesma rede, expondo a aplicação desejada através da combinação de uso de protocolo, IP, entre outros. No caso do Mobile Access do AVEVA Edge 2020, a combinação de protocolo TCP/IP e a conexão direta com o IP do aparelho base que está com o supervisório ativo é o suficiente, onde o acesso será possível por outros dispositivos que estão conectados na mesma rede.

O IIS também dispõe de recursos de segurança essenciais para um projeto de controle e automação, visto que a segurança cibernética de processos industriais vem sendo tema de grande pesquisa com o avanço da Indústria 4.0, onde ataques a sistemas automatizados em indústrias vêm crescendo conforme o avanço tecnológico na área. Principalmente com o surgimento cada vez mais recorrente de aplicações baseadas em IIoT e sua potencialização por meio de *machine learning*, essa grande inovação se transforma em uma “faca de dois gumes” ao abranger ainda mais seu uso ao utilizar recursos de inteligência artificial que deixam as ameaças ainda mais flexíveis e mais responsivas, se adaptando às já existentes redes de proteção de dados (Bout; Loscri; Gallais, 2022).

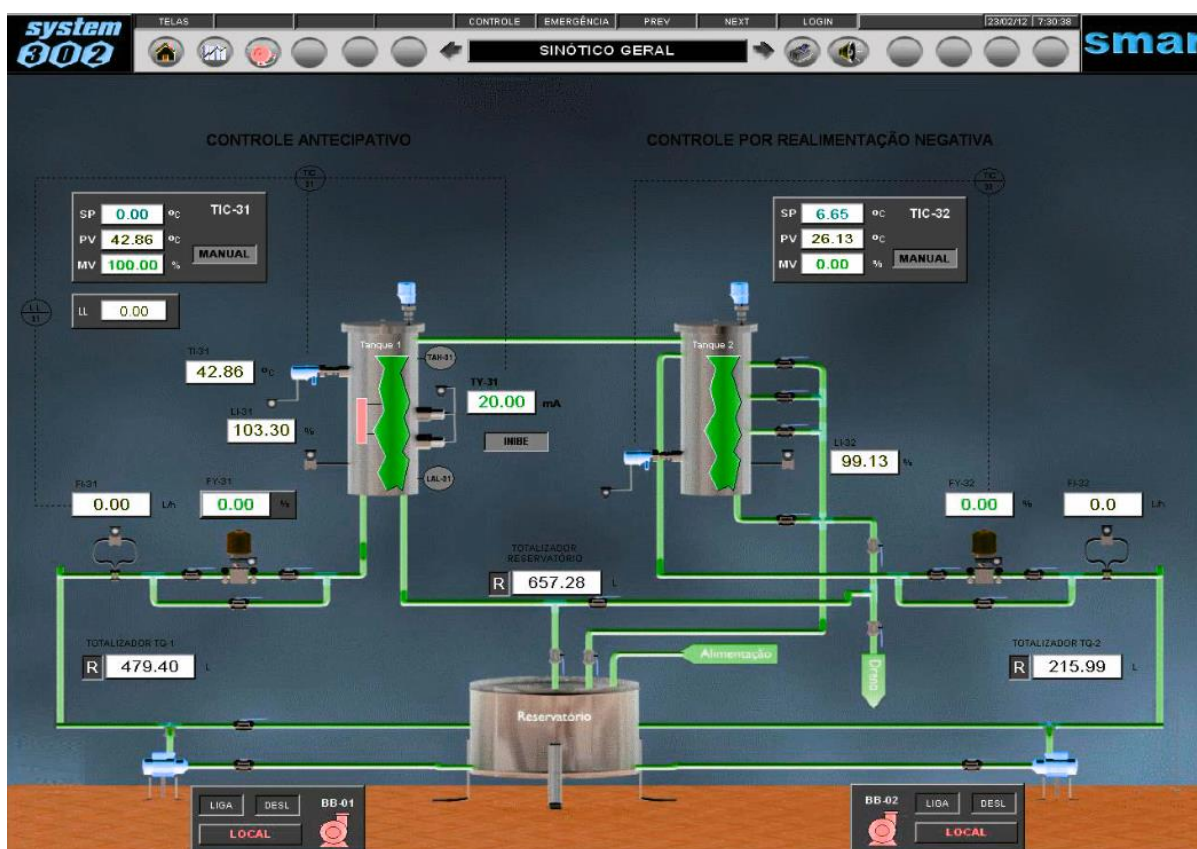
Sabendo que a implantação destes sistemas de segurança é complexa e o advento das inteligências artificiais vem evoluindo de maneira exponencial (gerando novos ataques para os quais ainda não se possui defesa), devemos ao menos limitar ou impedir que certas pessoas acessem o conteúdo desejado, nesse caso, as telas de supervisório (Calandrin, 2020).

O serviço da *Microsoft* também permite a utilização de um sistema de segurança para as aplicações. Por meio deste sistema, garante-se que o site hospedado no IIS não seja facilmente violado por terceiros. É dessa forma que a *Microsoft* disponibiliza o SSL (*Secure Socket Layer*) em seus servidores. O SSL é um protocolo que garante que toda comunicação entre o cliente (navegador do usuário) e o servidor (local onde a aplicação está armazenada, disponibilizado pela *Microsoft*) seja criptografada por um processo chamado de *Handshake* (aperto de mãos), onde o navegador envia uma mensagem ao IIS da *Microsoft* descrevendo qual

Conforme mostra a Figura 2, a planta SMAR PD3 simula um processo em que há dois tanques, um de mistura e um de aquecimento, que recebem água de um terceiro tanque de armazenamento. O tanque de aquecimento recebe água do tanque de abastecimento, utiliza resistências para aquecimento da água e transfere para o tanque de mistura a água aquecida, essa então recebe água fria para a mistura (SMAR, [S.d.]).

Todo o processo, tanto de supervisão quanto de configuração da planta, é realizado através de um microcomputador que possui os softwares do desenvolvedor da planta didática. O SYSTEM302 é o software que se encarrega de armazenar os registros de equipamentos, permitindo que suas características sejam configuradas. É por meio deste *software* que os valores das variáveis chegarão ao sistema de aquisição de dados. A aquisição e visualização dos valores é de responsabilidade de outro *software* que acompanha a planta, o ProcessView, onde a partir de uma tela de supervisor é possível monitorar a situação de todo o processo (Figura 3) (SMAR, [S.d.]).

Figura 3 – Tela de supervisor da planta PD3 via SYSTEM302

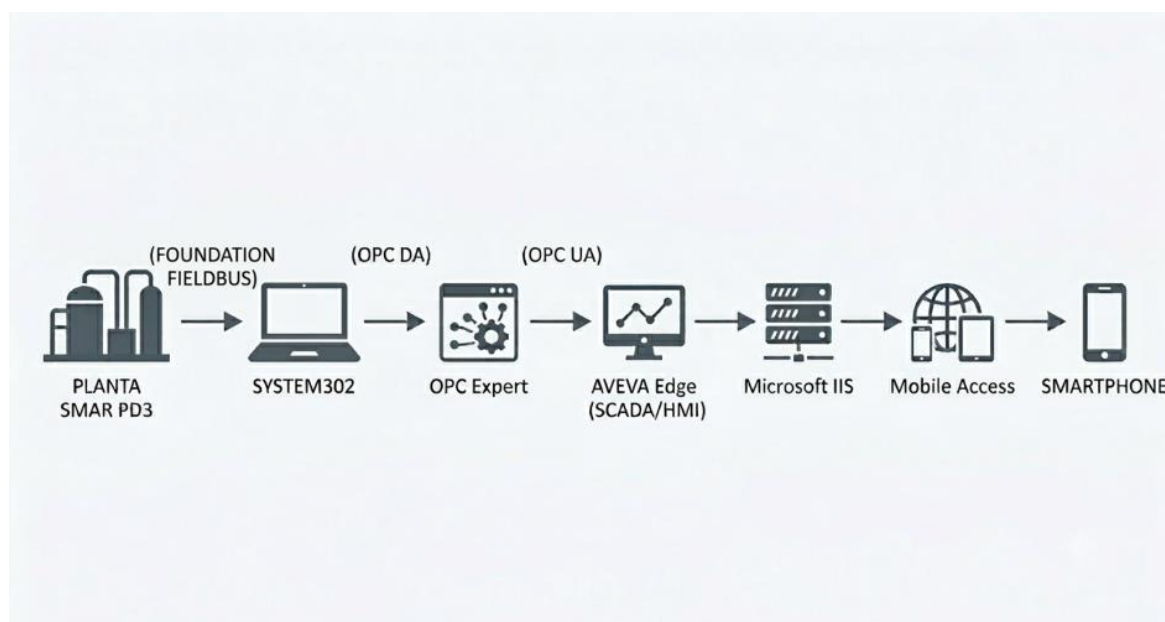


Fonte: SMAR

3 METODOLOGIA

Para a implementação do sistema supervisório móvel da planta da SMAR PD3, localizada no laboratório de sistemas de controle do CEFET-MG campus Araxá, foi utilizada uma metodologia estruturada em tópicos. O sistema atual conta com a planta didática SMAR PD3 em comunicação via Foundation Fieldbus com uma estação de trabalho, no qual está instalado o SYSTEM302. O software SYSTEM302 inclui o servidor OPC DA. Para o desenvolvimento desse trabalho, foi incluído o software OPC Expert, que obtém os dados via OPC DA e os disponibiliza em OPC UA, protocolo utilizado no AVEVA Edge para a leitura das variáveis. Posteriormente, o IIS hospeda localmente a aplicação *web* e disponibiliza os dados via navegador através do módulo *Mobile Access* do AVEVA Edge. O fluxograma descrito pode ser observado através da Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura adotada para funcionamento da portabilidade



Fonte: Autoria própria

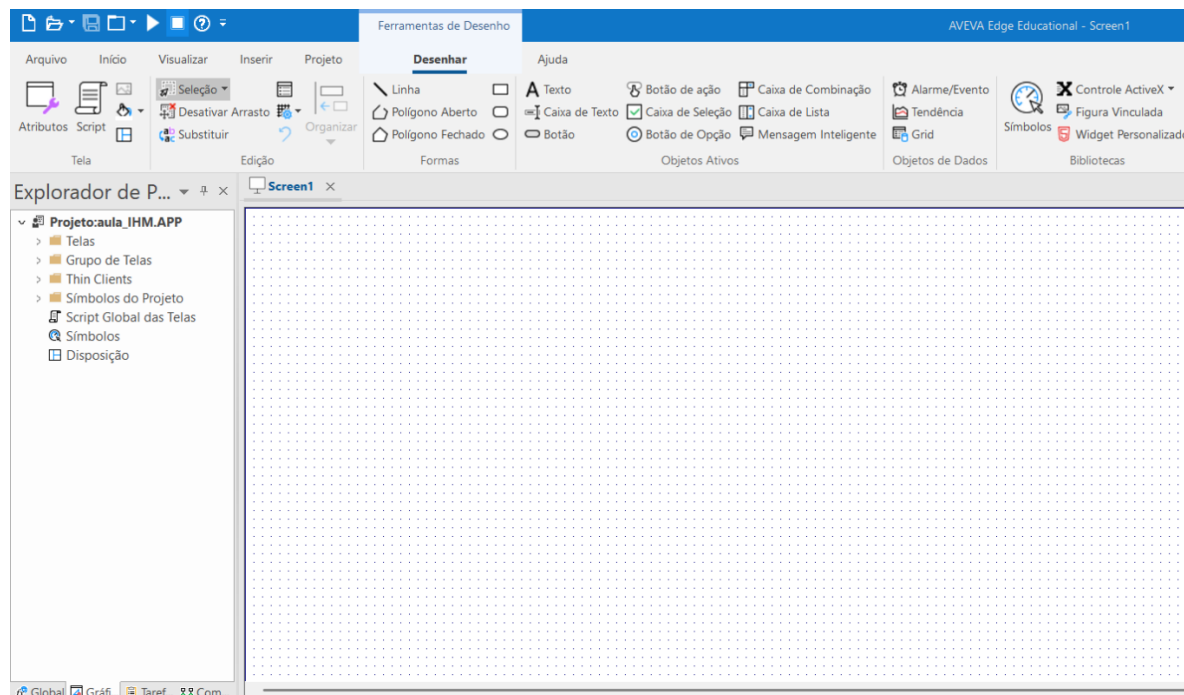
3.1 Desenvolvimento do supervisório

A etapa inicial do desenvolvimento prático deste trabalho consistiu na modelagem e construção de um sistema de supervisão e aquisição de dados, primordialmente em ambiente *desktop*, utilizando a plataforma AVEVA Edge 2020.

Esta prática, já proposta por trabalhos anteriores de Ribeiro (2025) e Melo (2023), visa manter atualizado o laboratório de automação do CEFET-MG Campus Araxá. Embora já houvesse registro de uma aplicação supervisória para a planta SMAR PD3 na instituição, a decisão metodológica de projetar e implementar essa nova interface do zero se justifica a partir da necessidade de assegurar um maior domínio da arquitetura de *tags*, de lógicas de alarme e das variáveis de processo. O procedimento descrito auxilia na mitigação de possíveis inconsistências do conhecimento técnico da interface anteriormente desenvolvida, estabelecendo uma base estável e totalmente documentada para as etapas subsequentes da criação do *web app*.

Nesta fase, realizou-se a criação de um supervisório que segue os padrões estabelecidos de filosofia, *design*, implementação e operação sugeridos pela norma ISA 101 através da plataforma AVEVA Edge 2020. Este *software* foi escolhido por suas características essenciais de portabilidade e flexibilidade, conceitos chave no que tange o escopo proposto neste documento. O supervisório desenvolvido comunica com a planta SMAR PD3 através do protocolo OPC UA, que fornece informações das variáveis da planta para vinculá-las às *tags* do projeto. A Figura 5 mostra o ambiente utilizado para desenvolvimento das telas.

Figura 5 - Ambiente de desenvolvimento do AVEVA Edge 2020 Educational



Fonte: Autoria própria

Em combinação com o supervisório, foi implementado o sistema de gerenciamento de alarmes e eventos integrados. Quando limites operacionais do sistema são ultrapassados, o supervisório dispara instantaneamente um alerta visual para o operador e registrar o evento em um banco de dados.

O ciclo de vida de um alarme foi estruturado sob um protocolo de segurança onde o alarme surge como ativo e não reconhecido. Após a ciência do usuário, ele passa para o estado de reconhecido, mas não desaparece da lista de alarmes, sendo eliminado apenas quando a variável voltar ao valor padrão de operabilidade. Junto ao supervisório em *desktop*, foi implementado o histórico de alarmes, onde mesmo os alarmes já resolvidos ficam armazenados com horário e ocorrência para conhecimento.

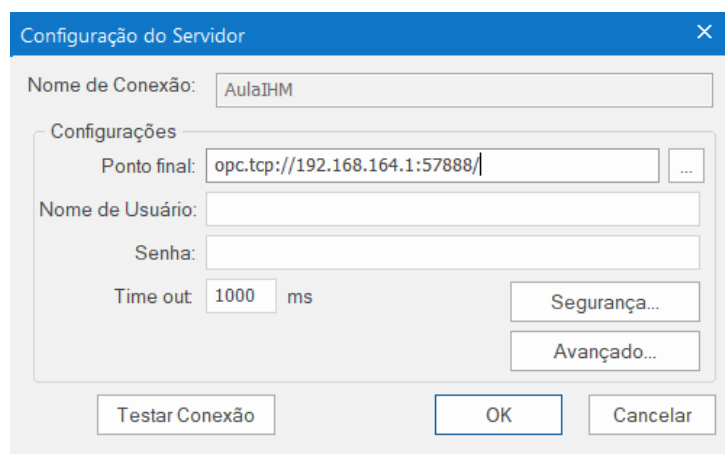
3.2 Comunicação via OPC UA

A comunicação com a planta é parte crucial para o sucesso deste projeto. Antes de ser disponibilizado para os dispositivos móveis, o supervisório original deve receber as informações das variáveis da planta, dados esses que serão enviados de forma remota através do protocolo OPC UA.

Ribeiro (2025) identificou uma limitação ao realizar essa comunicação, partindo do protocolo OPC DA do SYSTEM302. Os dados da SMAR PD3 estão instalados na máquina que detém a chave de acesso física para o SYSTEM302, e foi constatado que o OPC DA deste *software* não permite acesso remoto. Principalmente devido a essa limitação, foi utilizado um programa intermediário, o OPC Expert, que atuou como cliente OPC DA e servidor OPC UA. Dessa forma, os dados da planta didática puderam ser acessados via OPC UA por dispositivos na mesma rede local Ethernet, algo que não era possível com o OPC DA. Além disso, as outras vantagens do OPC UA sobre o OPC DA, como visto na seção 2.3, ficaram disponíveis para o desenvolvimento do sistema supervisório.

Com o acesso via OPC UA, a configuração feita no AVEVA Edge permitiu que as *tags* do sistema supervisório fossem atreladas às variáveis físicas da planta. As *tags* foram obtidas ao utilizar o caminho do computador que está com o SYSTEM302 instalado, comunicando com o servidor OPC através do IP fornecido pelo OPC Expert, conforme Figura 6.

Figura 6 - Configuração da comunicação OPC através do AVEVA Edge



Fonte: Autoria própria

3.3 Infraestrutura de Servidor Web

Tendo as etapas anteriores sido finalizadas, com o supervisório operando, recebendo e enviando informações para a planta, o próximo passo foi instalar o IIS da *Microsoft*, pois foi por meio deste que conseguimos acessar as telas de supervisório via *web*, visto que o AVEVA Edge nos permite transformar as telas criadas em arquivos acessáveis por navegadores. O IIS é nativo do Windows Server, mas não vem instalado na maioria das novas edições do sistema

operacional. Sua instalação parte da habilitação de recursos pela aba de configurações de internet na interface gráfica do Windows.

3.3.1 Fundamentação da Arquitetura

A adaptação de um sistema supervisorio (nativamente *desktop*) para uma plataforma de visualização remota exige uma camada de tradução e distribuição de dados baseada em protocolos *web*, como o HTML5. No ecossistema do AVEVA Edge 2020, o gerenciamento dessa funcionalidade se dá por meio do módulo *Mobile Access*. Porém, este módulo não opera de forma isolada, mas atua como um gerador de conteúdo que necessita de um servidor para hospedar a aplicação, gerenciar as requisições HTTP e garantir a segurança do tráfego.

Para o cumprimento dessa demanda, implementou-se o *Microsoft Internet Information Services* (IIS) como o servidor *web* e *gateway* de comunicação do projeto. A integração entre o AVEVA Edge e o IIS estabelece uma arquitetura de sistemas distribuídos onde o servidor web atua como um intermediário (hospedeiro técnico), recebendo as solicitações dos dispositivos móveis na rede e buscando as atualizações de *tags* diretamente do motor de execução (*runtime*) do supervisorio local (Volodarski, 2022).

O servidor disponibilizado, que será acessado pelo IP da máquina, é a ponte de conexão que se estabelecerá entre o AVEVA Edge e suas telas HTML com o navegador de internet. A única necessidade é ter uma conexão *wireless* estável e local, por onde os dois dispositivos poderão se conectar. A conexão deve ser sem fio, pois é dessa forma que o acesso será remoto, permitindo que o telefone celular possa se comunicar com o IP do computador no qual o supervisorio original está ativo.

Mesmo em servidores que disponibilizam redes diferentes, como o CEFET-MG, que possui uma rede de acesso de alunos e outra de servidores, caso estas duas estejam sobre a mesma LAN ou sub-rede, a comunicação acontecerá caso o roteador não isole as redes. Se houver uma configuração do roteador que crie regras de *firewall* para redes distintas vindas dele e estas impeçam a comunicação, os dispositivos não conseguem se comunicar localmente, e dependerão de acesso à internet para que possam se encontrar.

Para este caso, o servidor precisa estar associado a um endereço IP público, e a máquina que está com o IIS habilitado deve configurar o redirecionamento de porta, que é um método de rede que redireciona solicitações de um endereço IP externo para um endereço IP ou portas específicas dentro de uma rede privada. Assim, o roteador encaminha todas as requisições

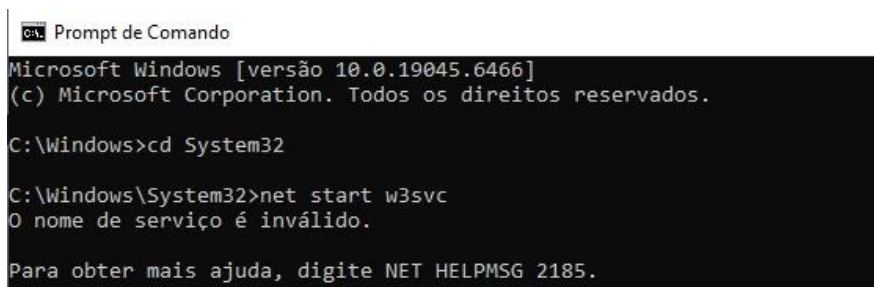
externas na porta 80 (HTTP) e 443 (HTTPS), sendo estes protocolos da camada de aplicação responsáveis pela comunicação e transferência de conteúdos *web*.

3.3.2 Protocolo de Instalação e Habilitação de Recursos no Sistema Operacional

O procedimento de implantação do servidor *web* foi executado diretamente nos recursos nativos do sistema operacional *Windows*, evitando o uso de ferramentas de terceiros para garantir a conformidade e a segurança do núcleo da rede. Para isso, o protocolo de instalação seguiu alguns passos.

Primeiro, foi necessário fazer a verificação, através do prompt de comando, da disponibilização do serviço por meio do comando `net start w3svc`, conforme é mostrado na Figura 7. O retorno de uma mensagem de erro durante esse comando indica que a instalação dos pacotes necessários para o funcionamento do *World Wide Web Publishing Services* não foi atendida, o que levou o projeto à fase do protocolo de instalação e habilitação de recursos no sistema operacional.

Figura 7 - Comando de verificação do IIS com retorno de erro

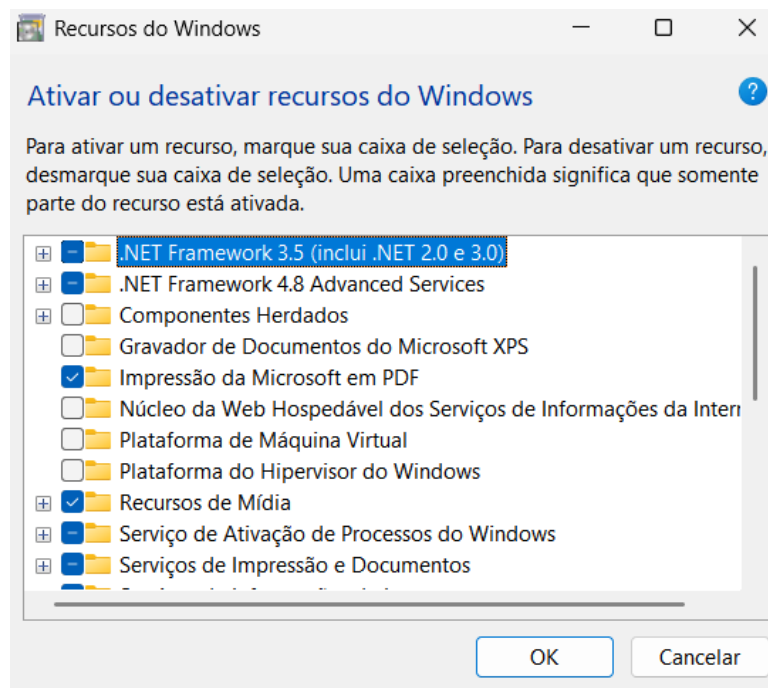


```

C:\Windows>cd System32
C:\Windows\System32>net start w3svc
O nome de serviço é inválido.
Para obter mais ajuda, digite NET HELPMSG 2185.
```

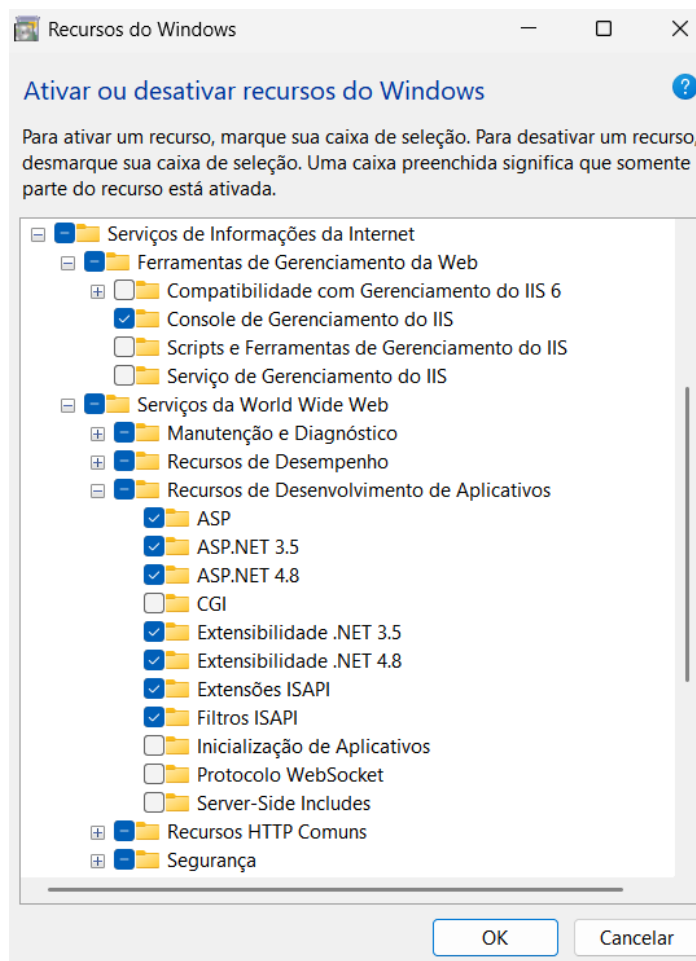
Fonte: Autoria própria

O primeiro passo é o acesso aos recursos do sistema, através do painel de controle do *Windows 11* no computador que tem o supervisor original, a partir do menu “ativar ou desativar recursos do Windows”, para localizar a árvore de diretórios do IIS. Para assegurar que o IIS conseguisse interpretar os *scripts* e extensões geradas pelo AVEVA Edge, habilitou-se as extensões .NET, ASP.NET e CGI, conforme Figura 8 (Newman; McMurray, 2026).

Figura 8 - Painel de Habilitação dos Recursos do Windows

Fonte: Autoria própria

Além dos recursos .NET Framework, indispensáveis para o funcionamento, a ativação dos recursos de desenvolvimento de aplicativos é, sistematicamente, o que realmente permitirá que usemos o servidor *Microsoft* como um hospedeiro da aplicação web desenvolvida via *Mobile Access*. Conforme a Figura 9, todas as subpastas pertencentes aos Serviços de Informação da Internet devem estar instaladas para haver plena comunicação.

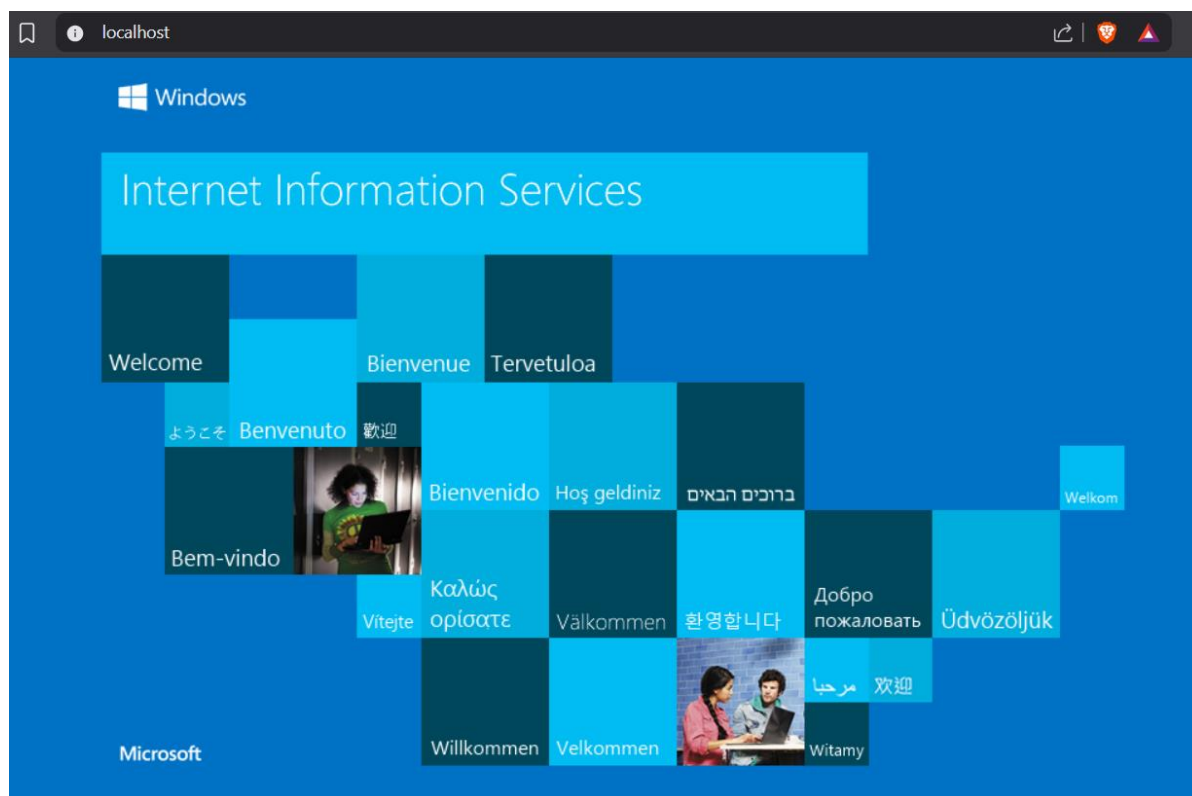
Figura 9 - Painel de Habilitação dos Serviços da World Wide Web

Fonte: Autoria própria

A instalação dos protocolos ASP, ASP.NET, .NET e derivados, bem como os Recursos HTTP Comuns e o módulo de segurança é de extrema importância para o desenvolvimento de uma aplicação *web* com base em HTML. De acordo com a Figura 9, é possível visualizar que o Console de Gerenciamento do IIS também foi instalado, e este permite a administração de portas, caminhos lógicos e segurança da rede.

O gerenciamento dos serviços de informação da internet é especialmente importante para a conformidade da entrega dos serviços. Quando configurado corretamente, o console deverá mostrar ao usuário a criação de um *Default Web Site*, responsável por fornecer uma indicação visual de que as configurações foram feitas corretamente. Além disso, é possível visualizar esse website através do <http://localhost>, ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Default Web Site do IIS acessado pelo IP da máquina



Fonte: Autoria própria

A partir do *Default Web Site*, poderemos utilizar o caminho para aplicações *web*, e agora o *Mobile Access* tem os recursos necessários para transferir as telas de supervisão criadas em HTML e posteriormente publicá-las através do IIS.

3.4 Parametrização do AVEVA Edge Mobile Access

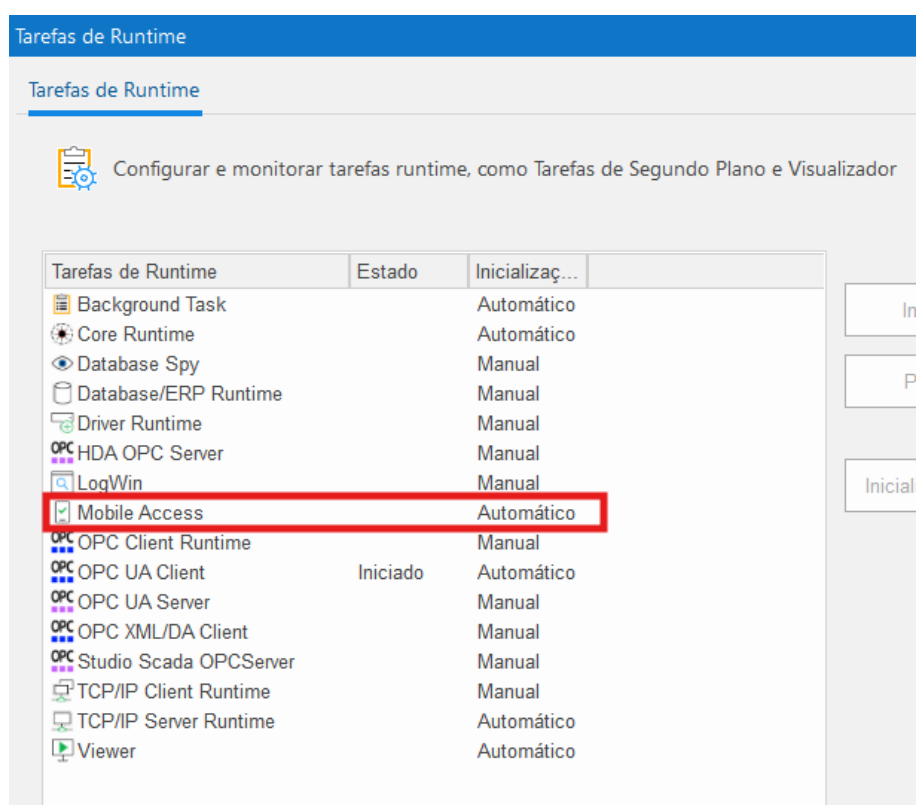
Após a consolidação do servidor *Microsoft IIS* para receber e processar as requisições dos clientes *web*, o procedimento concentrou-se na configuração interna do ecossistema AVEVA Edge 2020, mais especificamente no módulo *Mobile Access*. Essa configuração teve como objetivo permitir a conversão de telas desenvolvidas para o ambiente desktop em páginas compatíveis com navegadores comerciais (Chrome, Edge, Brave, Firefox, etc.) executados em dispositivos móveis. Para isso, o *Mobile Access* foi configurado para publicar os arquivos gerados no diretório previamente criado e disponibilizado pelo IIS (anteriormente apresentado como *Default Web Site*).

É importante ressaltar que o *Mobile Access* é um módulo separado da instalação inicial do AVEVA Edge 2020, sendo necessária toda a configuração do IIS para que o mesmo possa

ser baixado. A instalação do módulo Mobile Access já é habilitada no momento em que as configurações de IIS foram feitas corretamente. Portanto, após a instalação, será necessário apenas as configurações específicas de telas de supervisório.

A primeira verificação de funcionamento acontece logo ao instalar o módulo, a partir da ativação da tarefa de execução global. No ambiente de desenvolvimento do AVEVA Edge, a tarefa integrada *Mobile Access Runtime* foi inserida na lista de execução de inicialização do projeto. Foi necessário que esta tarefa fosse configurada com o modo de inicialização “automático”, garantindo que sempre que a estrutura interna da aplicação do supervisório *desktop* for iniciada, o subsistema de serviços *web* será disparado em segundo plano, operando em sincronia direta com o banco de dados do projeto. A tarefa do *Mobile Access* em funcionamento pode ser visualizada através da Figura 11.

Figura 11 - Runtime Task do Mobile Access após instalação



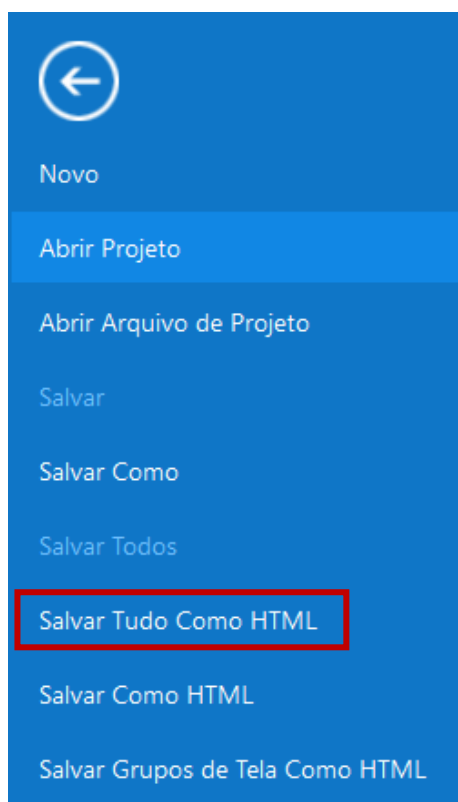
Fonte: Autoria própria

Realizados todos os testes de comunicação, configuração do IIS e visibilidade dos dispositivos nas redes utilizadas, foi constatado pleno funcionamento do sistema para prosseguir com a configuração das telas de supervisório que serão utilizadas em dispositivos

portáteis. Essa etapa é crucial, evitando falhas indesejadas no transporte de informações ou não-responsividade de recursos que devem estar presentes no supervisório.

As interfaces operacionais nativas do supervisório não possuem portabilidade direta para ambientes *web*. Para solucionar essa barreira, é necessário executar o comando global de compilação gráfica (*Publish All Screens to HTML*) apresentado na Figura 12, processo que realiza a conversão de dados, varrendo o layout do projeto e gerando uma estrutura equivalente composta por arquivos estáticos em HTML5, folhas de estilo e *scripts* baseados em JavaScript. É um recurso nativo do AVEVA Edge 2020, que habilita a transformação do que antes eram arquivos proprietários da plataforma (*.scc*) em arquivos publicáveis em aplicações.

Figura 12 - Exportação das telas para HTML

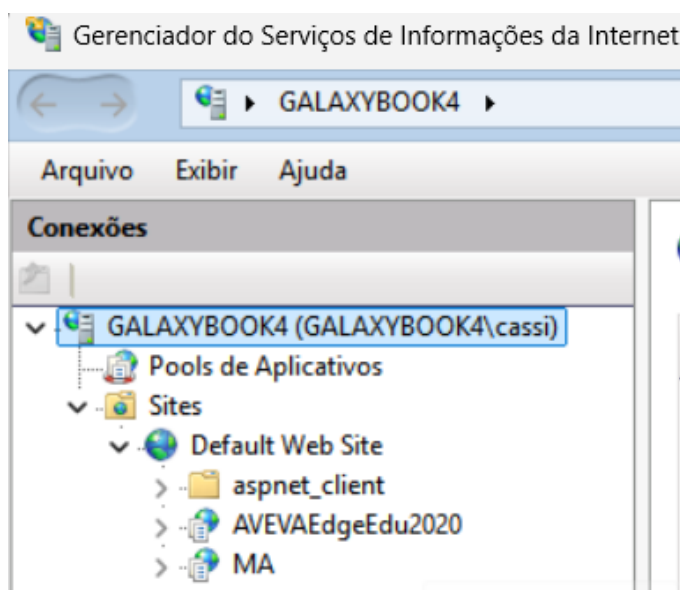


Fonte: Autoria própria

A comunicação entre o AVEVA Edge e o IIS, neste ponto, está estabelecida. Agora, o destino dos arquivos transportados foi todo parametrizado pelo *Mobile Access* para serem direcionados à pasta interna do projeto “\Web”, localizado na raiz estrutural. Este exato caminho foi o mesmo mapeado pelo diretório virtual do IIS (detalhado na seção 3.3.2), estabelecendo um vínculo automático entre o software SCADA e o servidor *web*.

Dessa forma, o mecanismo de transferência de telas passou a operar sob um modelo de arquitetura em duas camadas distintas de comunicação. Quando um dispositivo móvel remoto aponta seu navegador para o endereço IP do servidor (endereço esse pertencente ao supervisor original desenvolvido em *desktop*), o IIS atua como servidor intermediário, localizando a pasta criada pelo *Mobile Access* e transferindo todos os recursos gráficos (telas e layout visual) via protocolo HTTP padrão. O ecossistema do IIS pode ser visualizado através da Figura 13.

Figura 13 - Aplicação do Mobile Access (MA) na subpasta do Default Web Site (IIS)



Fonte: Autoria própria

Ao estabelecer essa comunicação, o motor do *Mobile Access* mantém uma espécie de canal de *streaming*, transmitindo dados criptografados para atualizar os valores numéricos e os estados lógicos das *tags* do projeto sobrepostos a essa interface. Dessa forma, o usuário pode interagir com o processo remotamente. Os dados criptografados vêm a partir da ativação do SSL (*Secure Socket Layer*) e dependem inteiramente da inclusão de um certificado de segurança (Ladki, 2024).

Certificados de segurança podem ser obtidos como certificados comerciais (adquiridos através de sites de hospedagem de servidores, emitidos por uma Autoridade Certificadora) ou certificados autoassinados, geralmente usados em aplicações locais. A limitação na utilização deste sistema neste projeto é que esses certificados assinados pela própria máquina onde o IIS está instalado são de uso único e restritos a um site apenas, esbarrando no IP dinâmico utilizado para a aplicação do *Mobile Access*, sendo este alterado a depender da rede em que está

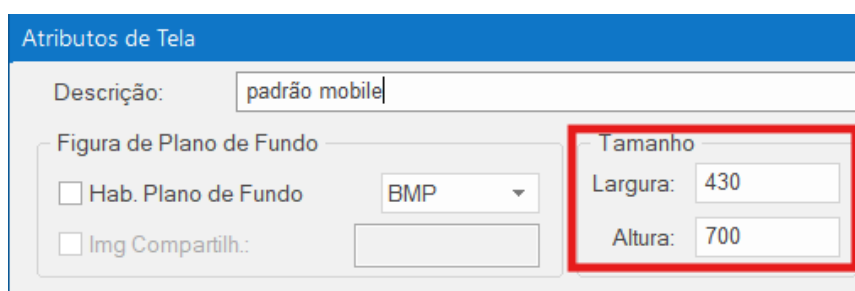
conectado. Portanto, as questões de segurança desse projeto foram abordadas através de controle de acesso (*login* e senha no *Mobile Access*).

3.5 Design de interface para dispositivos móveis

A disponibilização de telas para o ambiente móvel geraria uma restrição nas interfaces originalmente *desktop* principalmente pelas dimensões reduzidas das telas de *smartphones*. A solução imediata parece simples: alterar a resolução nativa global do projeto principal. Porém, a realização dessa alteração resultaria na desconfiguração das telas de supervisórios desenvolvidas para computador e que já estavam em funcionamento.

Para resolver o desafio da portabilidade sem alterar o projeto original, optou-se pelo desenvolvimento de telas dedicadas aos dispositivos móveis. Essas interfaces foram projetadas seguindo um padrão de proporção de tela (*aspect ratio*) utilizada no mercado de celulares, e focado principalmente na largura dessa proporção: 430 pixels. Esse valor é o mais utilizado em celulares modernos, que variam de 360 pixels à 430 pixels de largura (Viewport Sizer, [S.d.]). Dessa forma, ao selecionar o limite superior, engloba-se grande parte dos dispositivos. A aplicação desse padrão é apresentada através da Figura 14.

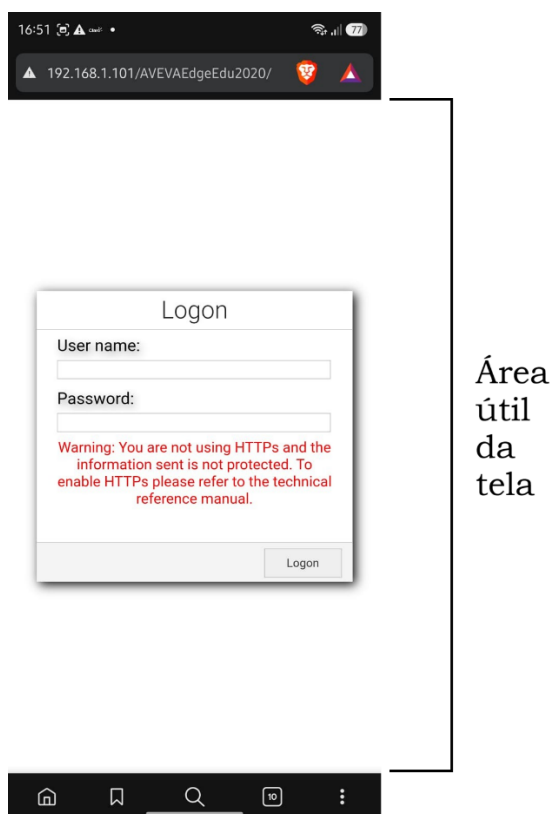
Figura 14 - Configuração de resolução na aba atributos de tela do AVEVA Edge



Fonte: Autoria própria

Embora a altura de 700 pixels não seja propriamente o padrão utilizado em celulares, é importante ressaltar que na visualização *web* a quantidade de pixels total do celular é grandemente reduzida por recursos do navegador, como a barra de ferramentas e de navegação, ou recursos do próprio aparelho, como barra de notificações superior e de navegação na parte inferior do celular, evidenciadas na Figura 15. Essa relação de área útil do celular foi levada em consideração na criação de telas para a portabilidade. A área útil do smartphone é ilustrada na Figura 15.

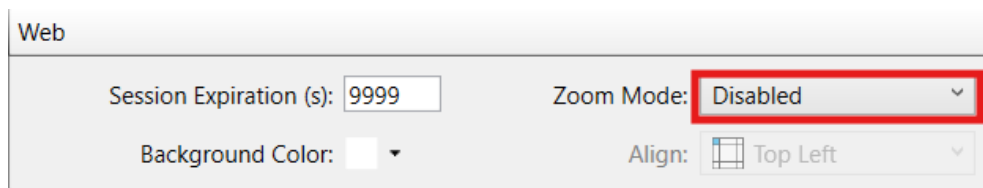
Figura 15 - Relação de área utilizável para a aplicação móvel



Fonte: Autoria própria

Parte do comissionamento do módulo *Mobile Access* do AVEVA Edge partiu de uma análise de comportamento do navegador diante das variações do tamanho das telas. Interfaces *web* comumente utilizam “zoom dinâmico” para ajustar o conteúdo à janela de exibição, parte importante da acessibilidade. No entanto, quando estamos falando de uma aplicação de automação, o escalonamento de tela automático utilizando o *zoom* pode ocasionar falhas de visualização (por erro do usuário) ou cliques indesejados, que podem ativar ou desativar um recurso importante (ligar ou desligar uma bomba, abrir ou fechar uma válvula). Esses erros podem ser ocasionados principalmente por algo utilizado corriqueiramente por nós: o *pinch-to-zoom*, que consiste no movimento de “pinçar” na tela do *smartphone* para uma direção ou outra, aumentando ou diminuindo a proximidade do conteúdo. Portanto, pensando até mesmo na segurança da operabilidade deste sistema, adotou-se a desativação completa do recurso de zoom nas propriedades de inicialização do *Mobile Access* (conforme Figura 16), travando a tela na proporção inicialmente declarada.

Figura 16 - Modo de zoom desabilitado nas configurações do Mobile Access, ecossistema do AVEVA Edge



Fonte: Autoria própria

Essa configuração garante que a tela se mantenha sempre da forma em que foi projetada, evitando desalinhamento ocasionado por uso errôneo do usuário ao tentar o *zoom*.

A posterior análise do espaço útil da tela trouxe a conclusão de que telas que apresentam uma visão geral da planta se tornariam ilegíveis em *displays* de aparelhos portáteis devido ao excesso de informações que estão nessas interfaces. Diante desse cenário, o desenvolvimento focou estritamente na adaptação das interfaces de controle de unidade de processo (subprocesso) anteriormente criadas para o supervisão. Essa reformulação de *layout* foi o que permitiu que a interface *mobile* operasse como uma extensão legítima da versão de computador, entregando ao usuário o máximo de clareza nas informações mostradas.

3.6 Procedimento de validação

Após as outras etapas terem sido realizadas, a parte final do escopo metodológico foi a validação dos resultados obtidos ao comunicarmos com a planta remotamente. Para garantir que as interfaces *mobile* se comportassem como esperado, foi seguido um protocolo de testes para os seguintes recursos:

- Leitura de tags de entrada: verificação da atualização dos valores conforme são alterados no processo;
- Escrita nas tags de saída: verificação da atualização dos comandos enviados pela IHM móvel na planta didática;
- Alarmes: verificação da correta sinalização dos alarmes, conforme são ativados no sistema supervisão;
- Gráficos: verificação da atualização dos dados exibidos em gráficos de tendência e do armazenamento dos valores históricos.

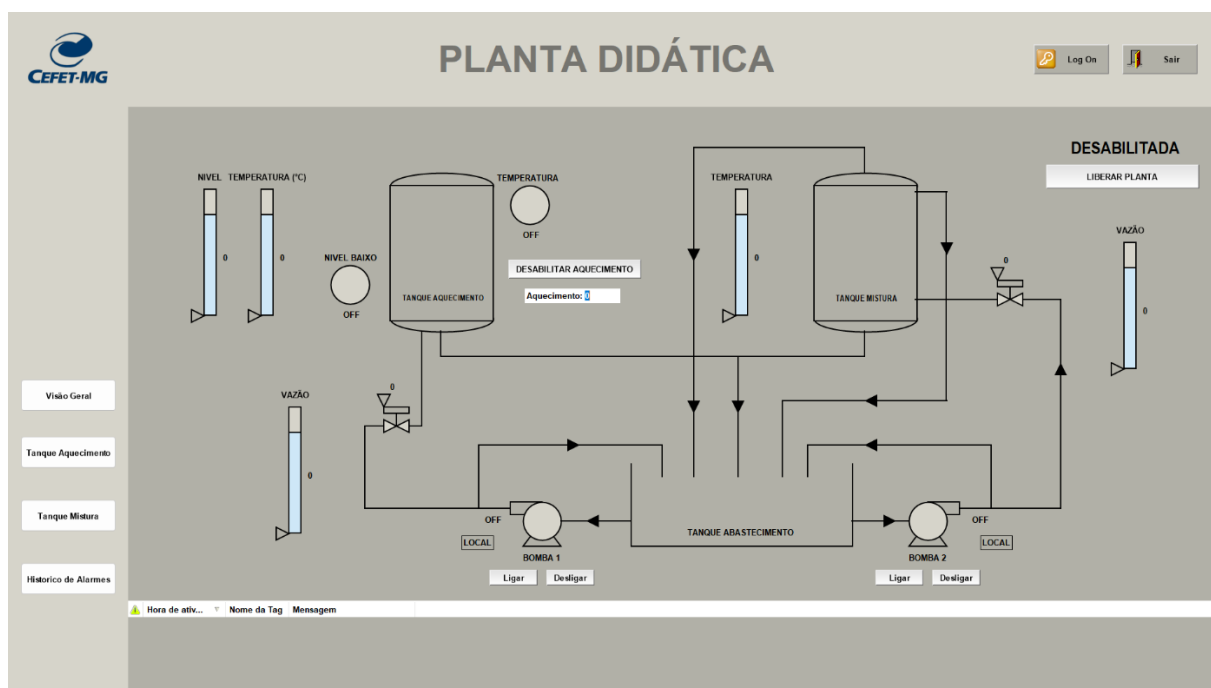
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, vemos que todas as ações tomadas na metodologia resultam no objetivo final de permitir que as interfaces homem-máquina desenvolvidas para dispositivos móveis se comportem como uma extensão do ambiente supervisório inicialmente desenvolvido para computadores.

4.1 Desenvolvimento do supervisório

A partir dos métodos citados em 3.1, nesta fase foram consolidadas as telas do sistema, sendo a principal delas a tela de nível um (visão geral de processo), onde é possível acompanhar a variação da planta como um todo, receber retorno visual de nível, temperatura, vazão, bem como visualizar alarmes e alertas dos processos. Esta tela é essencial para a proposta de um supervisório, já que deve ser de fácil visualização e operação em casos de emergência, e geralmente é a tela em que as estações de trabalho que operam com sistemas SCADA mantém como padrão de visualização, sendo a tela com menos detalhes e informações abundantes, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Visão geral de processo do supervisório desenvolvido

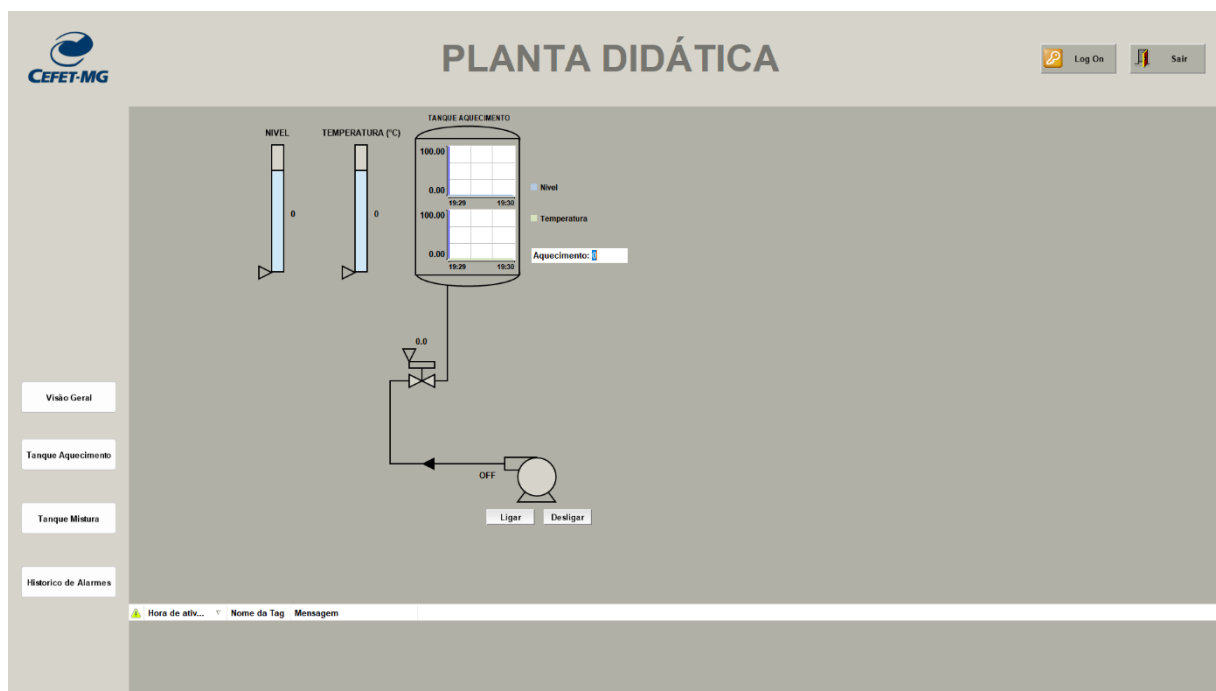


Fonte: Autoria própria

É importante salientar que, embora essa tela seja de suma importância para os supervisórios *desktop*, ao trazermos para a realidade da aplicação móvel, telas de aparelhos portáteis não iriam trazer benefícios caso contemplem telas de visão geral, por conta do tamanho insuficiente para uma boa visualização dos detalhes da planta.

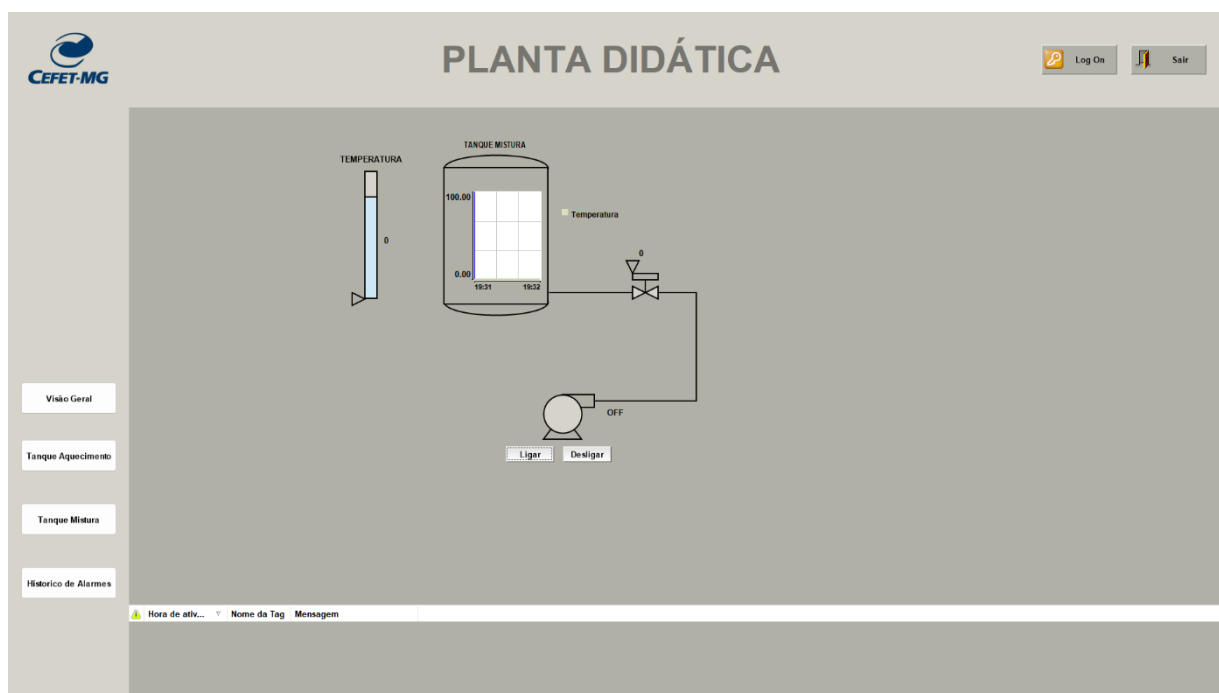
A arquitetura de telas também se concentrou na diagramação das telas de nível dois (controle de unidade de processo), interfaces que constituem o ambiente primário de operação e intervenção direta, sendo projetadas para detalhar subsistemas específicos da planta. A modelagem dessas telas no ambiente *desktop* priorizou a centralização de comandos essenciais e maior clareza na leitura de dados em tempo real, através de inclusão de gráficos de tendência para as variáveis de processo (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 - Tela de nível dois, detalhamento do tanque de aquecimento



Fonte: Autoria própria

Figura 19 - Tela de nível dois, detalhamento do tanque de mistura

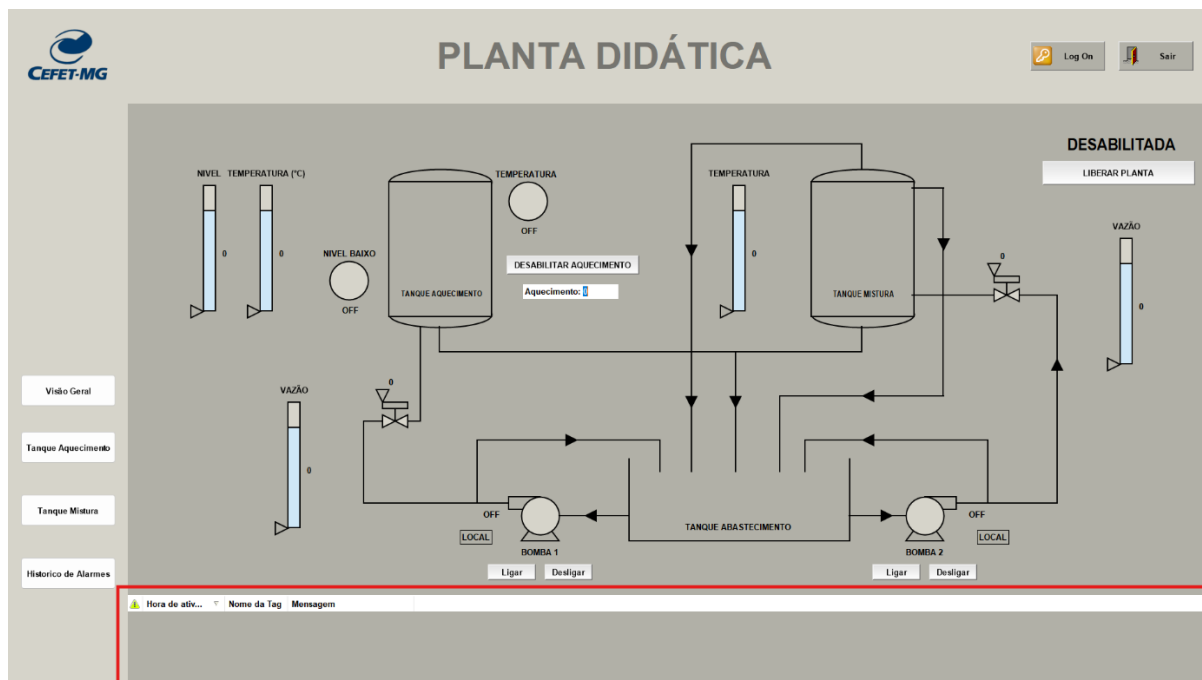


Fonte: Autoria própria

A disposição dos elementos em ambas as telas seguiu a lógica do fluxo de processos, mapeando de forma clara a conexão dos equipamentos. A partir das telas de nível dois, o usuário obtém maior capacidade de intervir no processo de forma mais precisa, uma vez que a quantidade de detalhes nessa tela é maior, onde o foco será direcionado especificamente para um dos tanques e tudo que está acoplado ao mesmo. Os gráficos no tempo foram adicionados na parte interior do objeto do tanque, permitindo que o usuário veja a tendência das variáveis relacionadas ao processo na mesma tela em que estão os outros componentes.

O sistema de alarmes é apresentado de duas formas diferentes neste sistema. Para visualização rápida, a parte inferior (rodapé) da tela conta com uma barra que exibe os alarmes que estão ativos naquele instante, permitindo que o usuário perceba uma inconsistência sem a necessidade de se alterar a tela. É exemplificado na Figura 20.

Figura 20 - Barra de alarmes no rodapé do supervisório



Fonte: Autoria própria

Embora essa solução seja eficiente quando analisamos a rapidez que é exibida ao operador, havia a necessidade de uma tela mais completa e que apresentasse ao usuário uma lista de todos os alarmes que ocorreram durante todo o tempo. É a partir dessa premissa que se implementou a tela “histórico de alarmes”, que também exibe a data e a hora em que uma inconsistência havia ocorrido na planta, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Tela com histórico de alarmes



Fonte: Autoria própria

4.2 Design de interface para dispositivos móveis

Sendo a parte central deste projeto, o design das interfaces para o *Mobile Access* foi desenvolvido com a finalidade de apresentar os recursos presentes no supervisório *desktop*, além de operar de forma síncrona com o *runtime* do AVEVA Edge 2020. Tendo esta diretriz em mente, as telas desenvolvidas para portabilidade são semelhantes às do *desktop*, desenvolvidas com base nas instruções de *design*, filosofia e operabilidade da norma ISA 101, e permitem ao usuário grande parte do que se há de funcionalidade no supervisório original.

O avanço na portabilização do supervisório se deu pela criação de uma tela de menu do sistema, duas telas de controle de processos (uma para o tanque de aquecimento, outra para o tanque de mistura), uma tela de alarmes e duas telas de gráficos. As *tags* utilizadas são as mesmas criadas para o supervisório original. A Figura 22 mostra o ambiente do AVEVA Edge com parte dessas *tags*.

Figura 22 - Lista de tags utilizadas e atreladas às variáveis

Configurações

Tela1.SCC

Tela2.SCC

Tela3.SCC

NavigationBar.SCC

Header.SCC

Alarmes.SCC

Sistema de Segurança

Web

ALARM001.ALR

OPC UA001.UA

x

	Nome da Tag	Buscar caminho	Scan	Div	Adicionar	Id N6
11	BB02_DESLIGA	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A01_04_DESL_B B2	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A01_04_DESL_BB2
12	BB01_LIGA	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A01_00_LIGA_B B1	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A01_00_LIGA_BB1
13	BB01_DESLIGA	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A01_01_DESL_B B1	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A01_01_DESL_BB1
14	STATUS_LIBERACAO	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A06_00_AUX_EM ERG	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A06_00_AUX_EMERG
15	LOCAL_REMOTO	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A03_ED_LOCAL_REM	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A03_ED_LOCAL_REM
16	LIT31D	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A04_03_AL_LIT31D	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A04_03_AL_LIT31D
17	TS31D	/O:Objects/2:USUARIO-PC/2:SmardfOleServer/0:2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/2:SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1/VIRTUAL/A04_01_AL_TIT31D	Sempre			ns=2;s=SmardfOleServer/0->PD3_DF75-FFB1.VIRTUAL/A04_01_AL_TIT31D

Fonte: Autoria própria

Além das *tags* utilizadas, as interfaces desenvolvidas para o *Mobile Access* também utilizaram o sistema de alarmes originalmente configurado. Parte desses alarmes podem ser visualizados através da Figura 23.

Figura 23 - Lista de alarmes utilizados na aplicação

Configurações

Sistema de Segurança

Web

Tela1.SCC

Tela2.SCC

Tela3.SCC

NavigationBar.SCC

Header.SCC

Alarmes.SCC

ALARM001.ALR

OPC

UACL001.UA

Descrição:

Nome do Grupo:

Config E-mail...

Avançado...

Cores nos Ctrl.s. de Alarme

☒ Habilitar

Ativação

FG

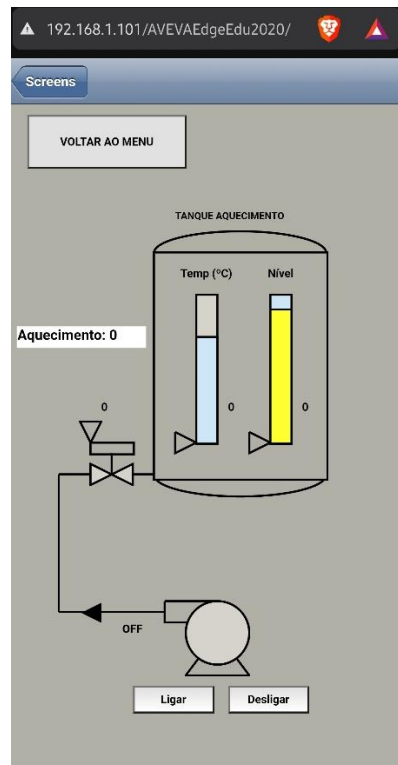
BG

	Nome da Tag	Tipo	Limite	Mensagem	Prioridade	Seleção
	Filtro de Texto	(Todo...	Filtro de Texto	Filtro de Texto	Filtro de	Filtro de T
1	Temp_TQ1	HiHi	90.000000	Temperatura do Tanque 1 muito alta	0	
2	Temp_TQ1	Hi	70.000000	Temperatura do Tanque 1 alta	0	
3	Temp_TQ2	HiHi	90.000000	Temperatura do Tanque 2 muito alta	0	
4	Temp_TQ2	Hi	70.000000	Temperatura do Tanque 2 alta	0	
5	Alarme_Nivel	HiHi	1.000000	Aquecimento ligado com nível do Tanque 1 baixo	0	
6	Alerta_Nivel	HiHi	1.000000	Aquecimento ligado com nível do Tanque 1 médio	0	
7	Alarme_Valvula1	HiHi	1.000000	Bomba 1 ligada enquanto válvula 1 está fechada	0	
8	Alarme_Valvula2	HiHi	1.000000	Bomba 2 ligada enquanto válvula 2 está fechada	0	

Fonte: Autoria própria

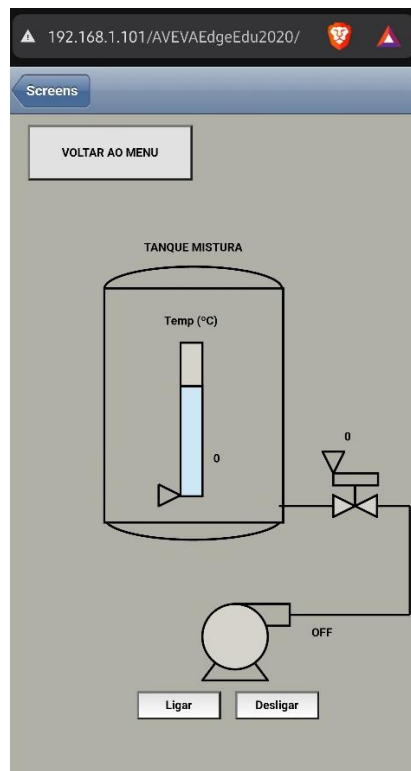
Como levantado na seção 3.5, há uma limitação na quantidade de objetos que podem ser adicionados nos celulares, e o desafio da portabilidade foi contornado adequando o conteúdo ao menor espaço de tela, sem comprometer a visualização e sem bombardear o usuário de informações. Conforme levantado durante a análise, as telas que foram comissionadas são as de nível dois, visíveis a partir da Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Tela de nível dois do tanque de aquecimento



Fonte: Autoria própria

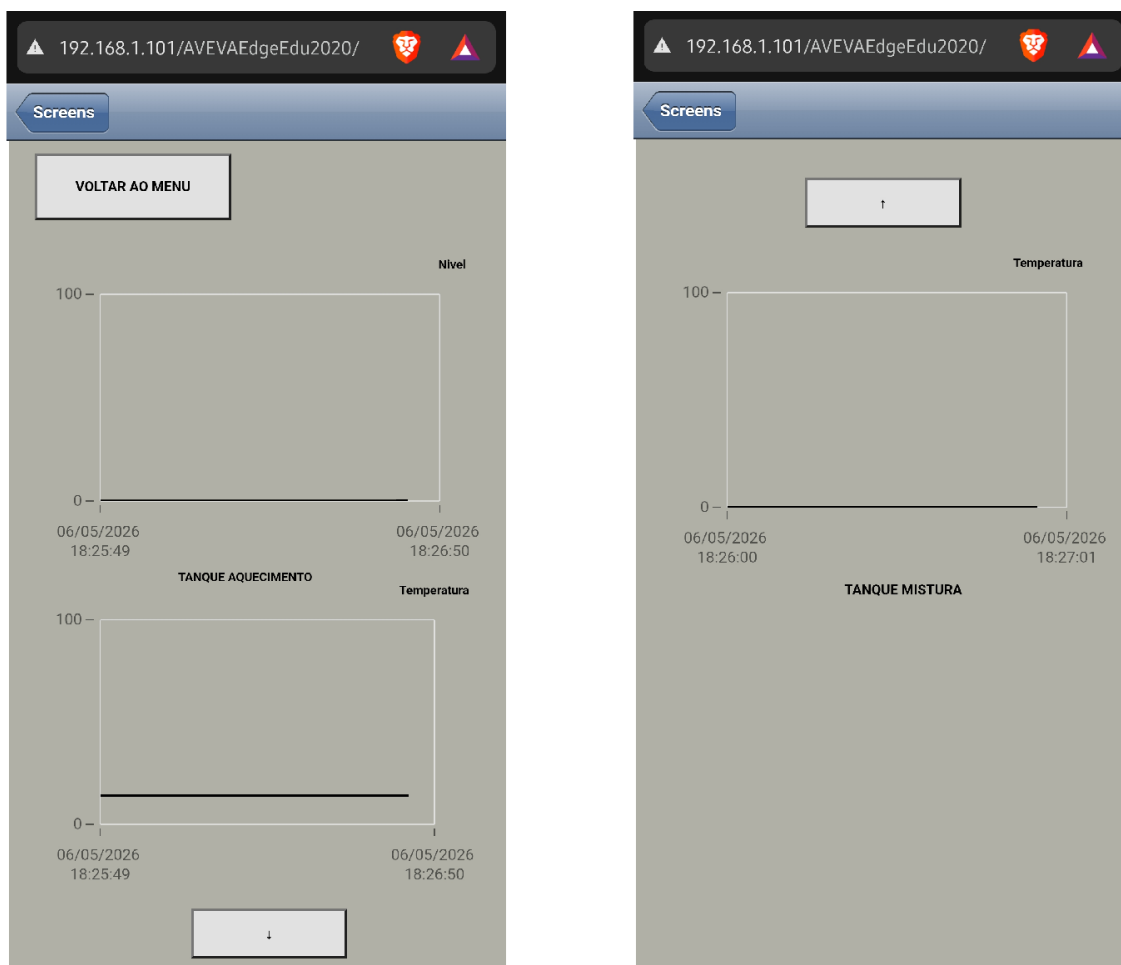
Figura 25 - Tela de nível dois do tanque de mistura



Fonte: Autoria própria

É possível perceber que nessas telas há os mesmos recursos presentes nas telas de nível dois do supervisório *desktop*. Pode-se alterar a abertura das válvulas, ligar ou desligar as bombas referentes a cada tanque e visualizar os indicadores de nível e temperatura. A limitação de espaço fez com que tenha sido removido da mesma tela os gráficos, que foram transportados para telas separadas. As telas de gráficos desenvolvidas são exibidas através da Figura 26.

Figura 26 - Telas de gráficos

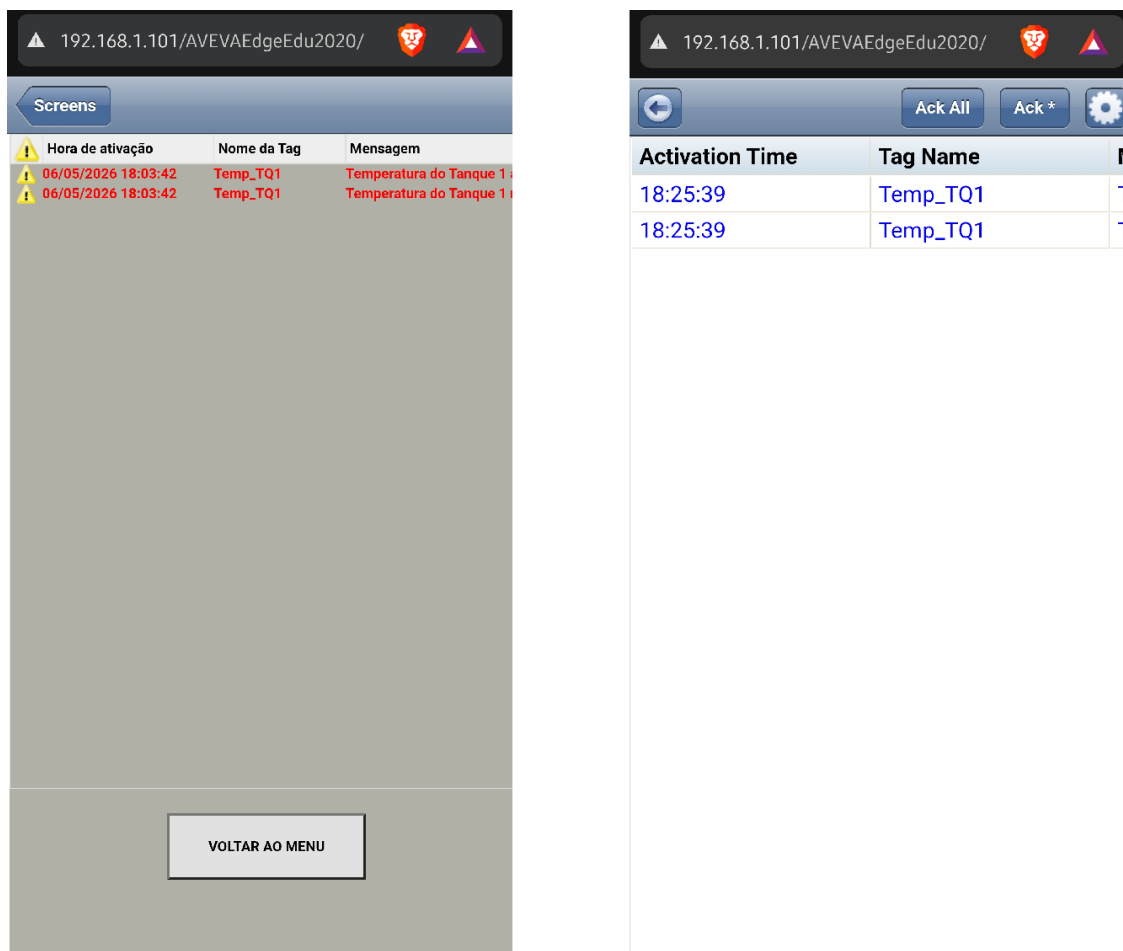


Fonte: Autoria própria

Progridindo na portabilização das telas, os alarmes do *Mobile Access* funcionam exatamente da forma que o sistema *desktop*. Alarmes que estão ocorrendo naquele instante, aparecem na lista em vermelho e permanecem até que o alarme seja resolvido. Caso a inconsistência tenha sido solucionada, o alarme aparece em azul claro no histórico, avisando que houve uma ocorrência naquela hora. A ação de duplo clique sob o alarme o elimina também do histórico. Foi desenvolvida uma tela separada para os alarmes, diferente do rodapé de

alarmes integrado que existe na versão feita para computadores. O *Mobile Access* também permite a visualização de alarmes em uma tela nativa da aplicação, embora tenha sido desenvolvida uma específica para este projeto, a fim de padronizar as visualizações. As duas telas presentes no sistema são apresentadas através da Figura 27.

Figura 27 - Tela de alarmes desenvolvida (à esquerda) e tela de alarmes nativa (à direita)

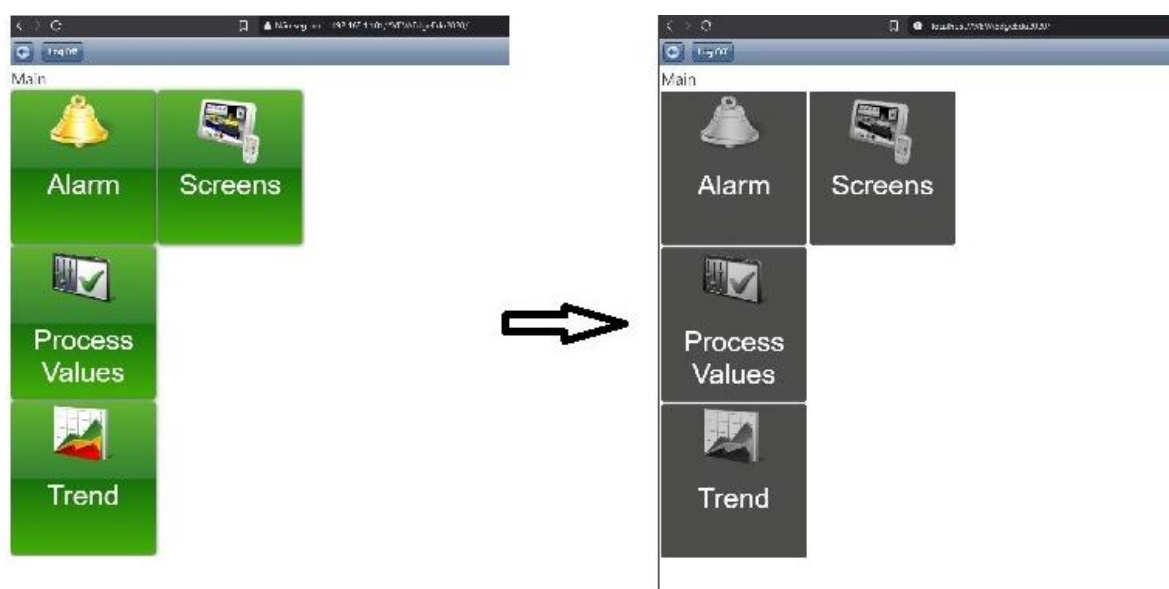


Fonte: Autoria própria

A decisão de criar telas do zero para recursos já existentes partiu de uma limitação gráfica do sistema *Mobile Access*. A aplicação já conta com telas para alarmes, gráficos e variáveis, mas peca na padronização em relação à norma ISA 101, ao exibir essas telas com cores exageradamente coloridas, com animações que prendem a atenção e não são eficientes perante as diretrizes da norma. A primeira tentativa de driblar essas inconformidades foi a alteração dos arquivos de estilo (.css) na própria pasta do AVEVA que é disponibilizada na *web*.

A princípio, houve resultado positivo, como mostra a Figura 28. Porém, ao alterar arquivos que estão diretamente na estrutura interna da aplicação, adicionar linhas de código antes não reconhecido pelo IIS causa lentidão na aplicação. Este não seria um problema crítico, adicionar latência a fim de melhorar a parte estética seria aceitável. A complicação surge quando o IIS deixa de reconhecer o novo arquivo de estilos .css como o arquivo nativo, e passa a procurá-lo em outras pastas, quebrando o caminho original (C:\inetpub\wwwroot\MA) e inutilizando completamente o sistema.

Figura 28 - Alteração da tela nativa do Mobile Access



Fonte: Autoria própria

A partir da análise desses problemas encontrados ao alterar os arquivos originais de estilo, a tela inicial do *Mobile Access* foi mantida na forma padrão. O menu desenvolvido, mostrado na Figura 29, pode ser acessado através do botão “Screens”.

Figura 29 - Tela de menu desenvolvida para dispositivos móveis



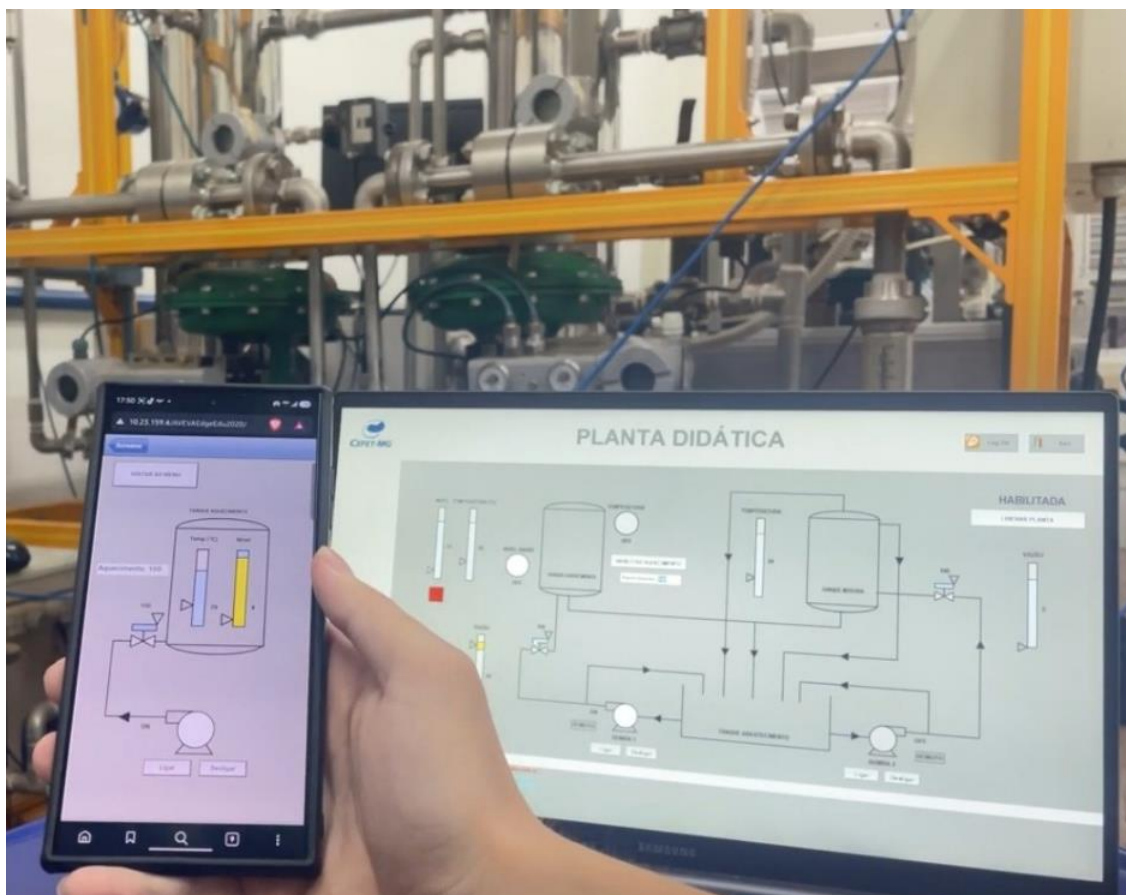
Fonte: Autoria própria

4.3 Validação dos resultados

A partir do processo de validação descrito na seção 3.6, foram realizados alguns testes de comunicação para assegurar que a metodologia foi realizada de forma correta e, portanto, obtiveram-se os resultados esperados.

A primeira análise realizada foi a leitura das *tags* de entrada, ou seja, o recebimento em tempo real da alteração dos valores das variáveis. Para isso, os testes foram realizados na planta SMAR PD3 localizada no laboratório de automação do CEFET-MG e seguiu a arquitetura descrita na seção 3. A Figura 30 mostra a tela do tanque de aquecimento com quatro variáveis sendo exibidas, o nível e a temperatura do tanque, a abertura da válvula e o acionamento da bomba. Também na Figura 30 é possível ver o sistema supervisório *desktop* e a planta didática ao fundo.

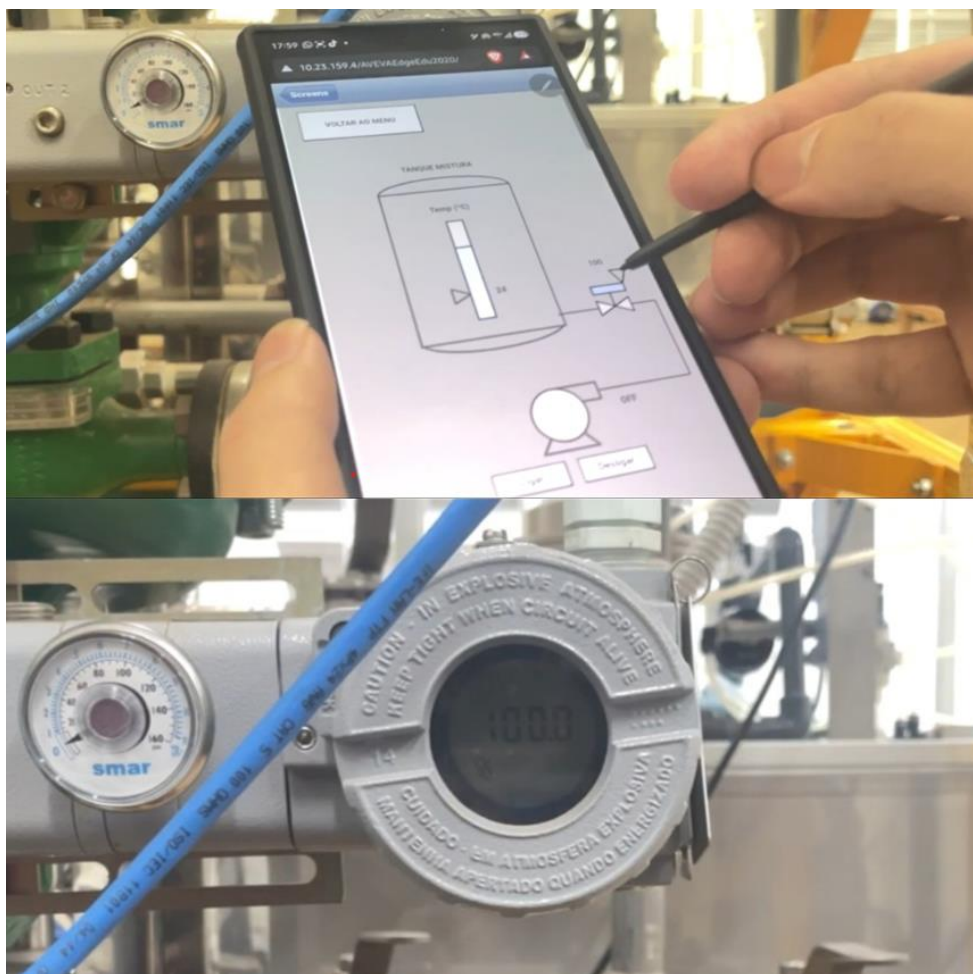
Figura 30 - Interface do Mobile Access recebendo informações da planta



Fonte: Autoria própria

A premissa de que as interfaces desenvolvidas devem conter a grande maioria das funções que existem no supervisório original permitiu que o teste da escrita também fosse realizado. Dessa forma, a aplicação que opera no dispositivo móvel também é capaz de alterar os valores das variáveis. Isso é apresentado com a abertura da válvula, como indica a Figura 31.

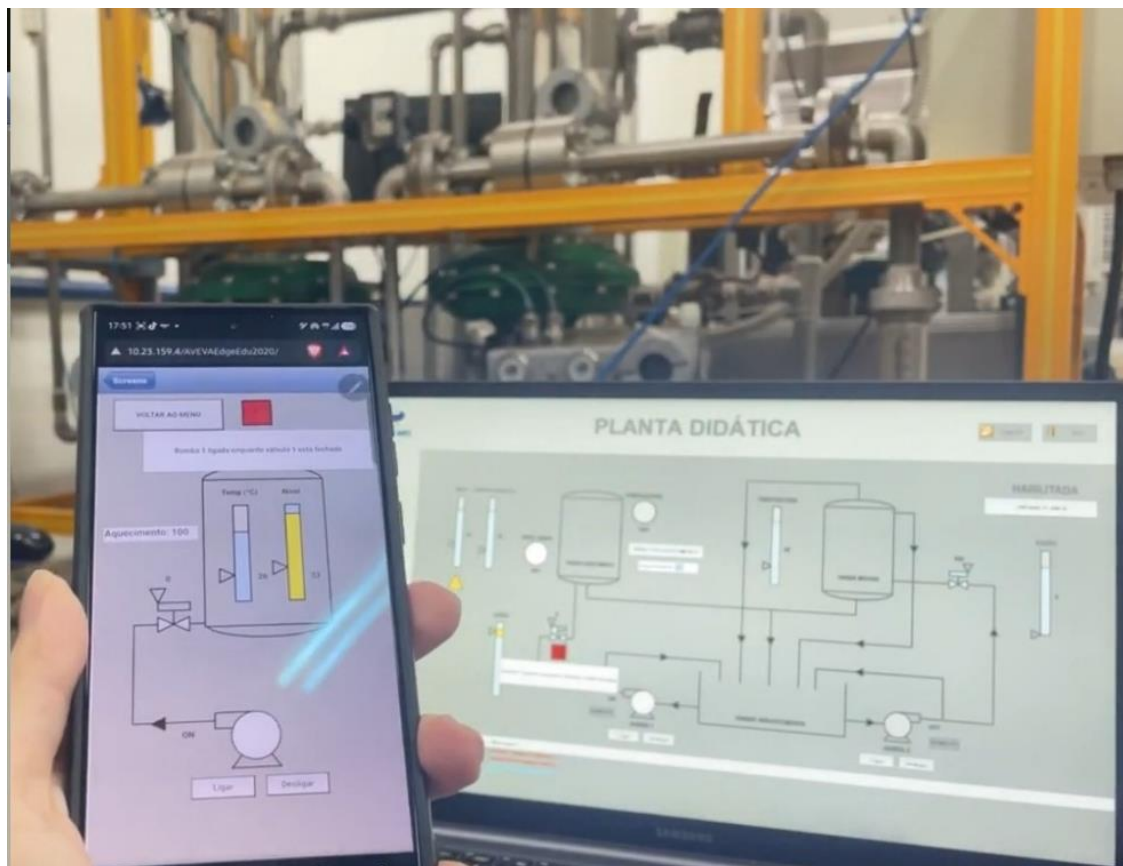
Figura 31 - Alterando a válvula do tanque de mistura para 100%



Fonte: Autoria própria

A correta sinalização dos alarmes, bem como o funcionamento do histórico da maneira que foi desenvolvido para o supervisor *desktop* é parte fundamental para essa aplicação, já que é um requisito de segurança. Através do acesso móvel, é possível notar que os alarmes (mostrados em vermelho) aparecem em ambos os sistemas, *desktop* e *mobile*, apresentado na Figura 32.

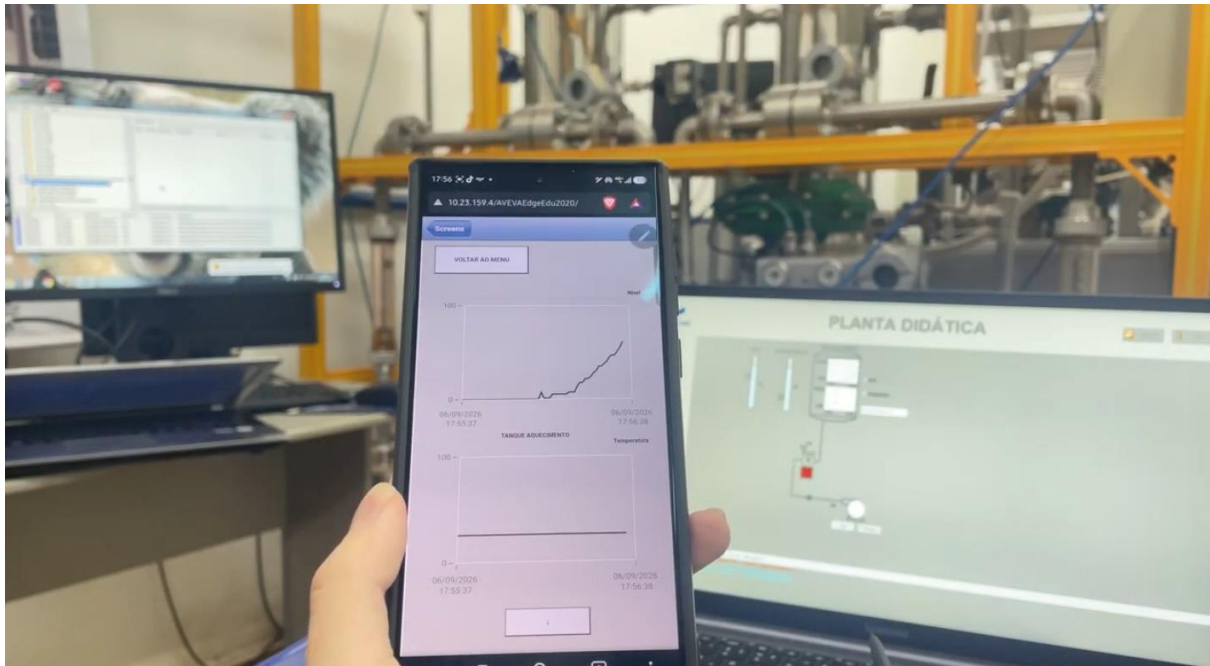
Figura 32 - Alarme sendo emitido em ambos os dispositivos



Fonte: Autoria própria

A seção 3.5 é de onde parte a análise da quantidade de informações possíveis na tela de um *smartphone*, e através dessa análise a tela de gráficos foi desenvolvida separadamente. Não diferente do funcionamento dos gráficos do supervisório original, a tela de gráficos registrou corretamente os valores de nível e temperatura do tanque de aquecimento, bem como manteve o registro mesmo ao sair da tela, garantindo um histórico de alterações nesta variável. O funcionamento da tela de gráficos é exibido na Figura 33.

Figura 33 - Registro de mudança no nível na tela de gráficos



Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÕES

A entrega da arquitetura proposta de monitoramento via dispositivos móveis cumpriu o escopo inicialmente proposto, através dos testes de validação realizados na planta didática SMAR PD3. Conclui-se que a interface móvel desenvolvida operou como uma extensão legítima do supervisório *desktop* original, expandindo a possibilidade de monitoramento da planta presente no laboratório de automação.

As interfaces desenvolvidas para os dispositivos remotos seguiram a premissa da norma ISA 101, garantindo *design* minimalista e livre de distrações ao usuário. Cumpre destacar também que uma das propostas metodológicas de implementar uma folha de estilo CSS totalmente personalizada para o ambiente de aplicação original do *Mobile Access* foi descontinuada após a identificação de erros relacionados aos caminhos originais do servidor do IIS. Apesar dessa limitação técnica, o resultado final não foi comprometido, uma vez que um submenu personalizado para a planta foi desenvolvido seguindo os critérios da norma.

O mecanismo de leitura e escrita das variáveis comportou-se como o esperado, e os comandos enviados via *smartphone* (como a alteração do estado das bombas e a abertura e fechamento das válvulas) tiveram resultados satisfatórios. As informações foram processadas pelo *runtime* do AVEVA Edge Educational 2020 e enviadas para os servidores da *Microsoft IIS*, que disponibilizou os dados de forma clara através do IP da máquina que detém o supervisório.

Em suma, o projeto entregou um recurso alinhado às tendências da Indústria 4.0, modernizando o acesso à informação e a transferência de dados entre um sistema já consolidado nas indústrias (sistema supervisório) e as novas abordagens a respeito de conectividade, IIoT e redes industriais.

REFERÊNCIAS

ANSI/ISA-101.01. **Human machine interfaces for process automation systems: American national standard: ANSI/ISA-101.01-2015**. Research Triangle Park, North Carolina: ISA, 2015.

AVEVA. AVEVA™ Edge - HMI and IoT Edge solution for OEMs and End Users. Disponível em: <<https://www.aveva.com/en/products/edge/>>. Acesso em: 4 dez. 2025.

AVEVA Edge: How to enable the Mobile Access, Web Thin Client, and Secure Viewer from the scratch. , 7 maio 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CqV0s5YYhzk>>. Acesso em: 4 dez. 2025

BOUT, Emilie; LOSCRI, Valeria; GALLAIS, Antoine. How Machine Learning Changes the Nature of Cyberattacks on IoT Networks: A Survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 24, n. 1, p. 248–279, 2022.

BOYER, Stuart. **Scada_ Supervisory Control And Data Acquisition**. Disponível em: <https://www.iqytechnicalcollege.com/Scada_%20Supervisory%20Control%20And%20Data%20Acquisition.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2025.

CALANDRIN, Alisson De Souza. **SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO APLICADA À INDÚSTRIA 4.0**. 15 jul. 2020.

CAVALIERI, Salvatore; CHIACCHIO, F. Analysis of OPC UA performances. **Computer Standards & Interfaces**, v. 36, p. 165–177, 1 nov. 2013.

CIMINO, Caroline P.; NASCIMENTO, Deyvison R. Revisão bibliográfica sobre a Indústria 4.0: Impactos das tecnologias contemporâneas nas indústrias automotivas brasileiras e suas implicações para otimização de processos. **Espacios**, v. 46, n. 03, p. 207–218, 30 maio 2025.

COELHO, Marcelo. **Sistemas Supervisórios Modernos - Apostila**. , jun. 2010.

GURUNG, Kalokson *et al.* Texas City Refinery explosion — safety out of focus. out. 2020.

KHAN, Rafiullah *et al.* A Seamless Cloud Migration Approach to Secure Distributed Legacy Industrial SCADA Systems. *In*: 2020 IEEE POWER & ENERGY SOCIETY INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES CONFERENCE (ISGT). **2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)**. fev. 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9087760>>. Acesso em: 3 dez. 2025

KUMAR, Raman; RANI, Sita; AWADH, Mohammed Al. Exploring the Application Sphere of the Internet of Things in Industry 4.0: A Review, Bibliometric and Content Analysis. **Sensors**, v. 22, n. 11, p. 4276, jan. 2022.

LADKI, Saad. **Como configurar o SSL no IIS 7 ou em versões mais recentes**. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/iis/manage/configuring-security/how-to-set-up-ssl-on-iis>>. Acesso em: 1 dez. 2025.

LEITE, Leandro Rogério Corrêa. Internet das Coisas (IoT): Vulnerabilidades de Segurança e Desafios. 2019.

MELO, José Maria De. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO COM BASE NA NORMA ISA 101 PARA A PLANTA DEMOKIT-SMAR. 2023.

MENDES, Gabriel Sales. **Digitalização na Indústria 4.0: Análise de Digitalização de Fábricas, Implementação de Sistemas de Monitoramento, Coleta de Dados e Automação.** [S.l.: S.n.].

NEWMAN, Keith; MCMURRAY, Robert. **Configurando a etapa 1: instalar módulos IIS e ASP.NET.** Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/iis/application-frameworks/scenario-build-an-aspnet-website-on-iis/configuring-step-1-install-iis-and-asp-net-modules>>. Acesso em: 5 jun. 2026.

OPC FOUNDATION. **What is OPC? OPC Foundation,** [S.d.]. Disponível em: <<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>>. Acesso em: 29 maio. 2026

PAIOLA, Carlos E. G. O PAPEL DO SUPERVISÓRIO NO ATUAL CONTEXTO TECNOLÓGICO. 2012.

PASQUINI, Nilton Cesar. Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual. **Revista Tecnológica da Fatec de Americana**, v. 8, n. 01, p. 29–44, 8 ago. 2020.

RIBEIRO, Layara Bertoldo. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA PLANTA DIDÁTICA SMAR PD3 COM BASE NA NORMA ISA 10. 2025.

SCHLEIPEN, Miriam *et al.* OPC UA & Industrie 4.0 - Enabling Technology with High Diversity and Variability. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 315–320, 31 dez. 2016.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** [S.l.]: Edipro, 2016.

SILVA, Daniel. **Acidente de Chernobyl: causas e consequências.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/historiageral/acidente-chernobyl.htm>>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SMAR. **Manual da Planta Didática SMAR PD3-F.** , [S.d.].

SOMMER, Scott. **The ABCs of OPC UA: Everything You Need to Understand - RealPars.** Disponível em: <<https://www.realpars.com/blog/opc-ua-basics>>. Acesso em: 9 jun. 2026.

SOUSA, F. J.; TORRES, L. P.; ARAUJO, T. M. A. **Modelos de Sistemas de Supervisão na Indústria 4.0.** , 8 set. 2023.

SOUZA, Rafael. **Indústria 4.0 - um estudo da realidade brasileira.** **International Integralize Scientific**, mar. 2025. Disponível em: <<https://iiscientific.com/artigos/3d4c94/>>. Acesso em: 2 dez. 2025

VIEWPORT SIZER. **Devices. Viewport Sizer,** [S.d.]. Disponível em: <<https://viewportsizer.com/devices/>>. Acesso em: 5 jun. 2026

VOLODARSKI, Mike. **IIS Web Server Overview**. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/iis/get-started/introduction-to-iis/iis-web-server-overview>>. Acesso em: 27 nov. 2025.