

SISTEMA SUPERVISÓRIO

Utilização de um sistema Supervisório na usina fotovoltaica

Fabrício Teixeira dos Santos¹

Matheus Mariano Marinato²

Wemerson Carvalho dos santos³

RESUMO

Sistema de supervisão Scada é um software que utiliza tecnologia de informação e de comunicação para o monitoramento e controle, coletando e organizando dados, para apresentar ao operador através da interface homem-máquina (IHM). As novas alternativas para geração de energia tem chamado a atenção pelo seu crescimento, principalmente as das miniusinas e a que merece destaque é o uso da energia solar fotovoltaica. O objetivo é fazer uma revisão bibliográfica e um estudo a respeito do sistema Scada, conhecido como sistema supervisório, para uma usina solar fotovoltaica de 355,71 kWp, ainda em fase de projeto, que será instalada no interior do estado do Espírito Santo. Esse estudo apresentará a viabilidade do sistema supervisório junto ao projeto da usina, o estudo financeiro sobre o valor final da usina fotovoltaica, todas as etapas para sua implantação e se será capaz de avaliar todos os pontos de uma usina fotovoltaica. Através de resultados obtidos em outros estudos, serão feitas comparações de funcionalidade e satisfação, que servirá como parâmetro para que possa ser aplicado em qualquer instalação de geração de energia através de painéis solares.

Palavras-chave: Scada. Usina fotovoltaica. Geração de energia. Painéis solares.

¹ Fabrício Teixeira dos Santos – Doctum Vitória – fabriciot.engenharia@gmail.com – Graduando em Engenharia Elétrica

² Matheus Mariano Marinato – Doctum Vitória - matheusmarianomarinato@hotmail.com – Graduando em Engenharia Elétrica

³ Wemerson Carvalho dos santos – Prof.wemerson.santos@doctum.edu.br - Doctum Serra – Orientador

ABSTRACT

Scada supervision system is software that uses information and communication technology for monitoring and control, collecting and organizing data, to be presented to the operator through the human-machine interface (HMI). New alternatives for energy generation have attracted attention due to their growth, especially those of mini-plants, and the one that deserves to be highlighted is the use of photovoltaic solar energy. The objective is to review the literature and study the Scada system, known as the supervisory system, for a 355.71 kWp solar photovoltaic plant, still in the design phase, which will be installed in the interior of the state of Espírito Santo. This study will present the viability of the supervisory system together with the plant project, the financial study on the final value of the photovoltaic plant, all the steps for its implementation and whether it will be able to assess all the points of a photovoltaic plant. Through results obtained in other studies, comparisons of functionality and satisfaction will be made, which will serve as a parameter so that it can be applied in any installation of energy generation through solar panels.

Keywords: Scada. Photovoltaic plant. Power generation. Solar panels.

1 – Introdução

Nos últimos anos, estamos acompanhando a crescente demanda por energia elétrica no Brasil e isso gerou um enorme desafio para a geração dessa demanda, uma vez que, as fontes geradoras são limitadas e está cada vez mais difícil encontrar fontes renováveis com capacidade de geração.

O setor elétrico brasileiro é centralizado na geração hidráulica e esse aproveitamento hidrelétrico é de apenas 33% do seu potencial, e o restante da capacidade hídrica para geração de energia se encontra na região amazônica (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017), onde os impactos ambientais para a implantação de usinas hidrelétricas seriam gigantescos. Com isso, a necessidade de criação de gerações alternativas de energia renovável aumentou nos últimos anos, e a energia solar fotovoltaica conectada à rede vem se destacando nesse contexto.

Com a crescente demanda por geração, somados à conscientização ambiental por fontes de energia renováveis e alguns incentivos fiscais por parte dos governos, possibilitando a geração no próprio local de consumo. De acordo com as informações fornecidas pela ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), no início de 2020, o investimento acumulado dos consumidores residências em energia solar fotovoltaica alcançou a marca de R\$ 5,1 bilhões no Brasil, com uma capacidade instalada de 2,3 GW (Gigawatts), sendo 38,9% das instalações. Houve também um crescimento para outros segmentos de consumidores, com 18% para as empresas de comércio e serviços, 8,7% para os consumidores rurais e 2,7% nas indústrias. Segundo um levantamento realizado pela própria ABSOLAR, a geração distribuída no Brasil obteve um aumento de 77,83% no primeiro trimestre de 2020, em comparação ao mesmo período de 2019, e possui tendência de crescimento do aumento da geração distribuída fotovoltaica no segundo semestre.

Como se pode ver, é cada vez maior a necessidade por demanda de geração de energia elétrica esbarra nas dificuldades e custos cada vez maiores, para a ampliação dos sistemas de geração de distribuição. Em grande parte, as restrições ambientais e a necessidade de uma fonte de energia renovável e limpa, estão fazendo com que os investimentos em geração de energia vinda da queima de combustíveis fósseis, percam espaços e investimentos.

Temos diversas opções para a geração de energia renovável, onde a geração fotovoltaica é a mais conhecida e difundida, com um crescimento que merece destaque nos últimos anos. Apesar de uma forma relativamente cara de geração própria de energia, são inúmeros os seus benefícios, principalmente no ponto de vista ecológico e não poluente, alavancando as vendas e aumentando cada vez mais as opções dos produtos que compõem o sistema fotovoltaico.

A tecnologia para a geração fotovoltaica vem chamando a atenção de grandes investidores, visando principalmente à economia gerada em seus gastos fixos com energia elétrica e agregando o valor ecológico na produção de seus mais diversos produtos. Os sistemas solares estão cada vez maiores e há uma necessidade de acompanhar e controlar os indicadores de geração diária e até mesmo mensal. Por isso, o monitoramento do sistema, seja em grandes usinas ou em pequenas unidades consumidoras, é de suma importância para as análises de rentabilidade e eficiência do projeto, já que a agilidade nas detecções de uma baixa eficiência do sistema ou em falhas de geração proporciona um tempo menor das perdas e uma rápida resolução do problema.

O sistema Scada (*Supervisory Control and Data Acquisition* - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), é uma tecnologia que permite esse monitoramento, rastreando a informação do processo da instalação física do sistema. As informações são coletadas por equipamentos coletores de dados, manipulando e analisando, depois armazenando e permitindo que o usuário tenha acesso a esses dados.

O sistema Scada é composto tipicamente por estações terminais mestre, unidades remotas como CLP (Controlador Lógico Programável), RTU (*Remote Terminal Unit* - Unidade Terminal Remota) e IED (*Intelligent Electronic Device* - Dispositivo Eletrônico Inteligente). Temos também os dispositivos de campo, que são os sensores e atuadores. Além disso, temos toda a tecnologia de comunicação embarcada juntamente com o software, para a interconexão desses componentes (SILVA e SALVADOR, 2005).

O objetivo é o estudo das literaturas e revisão bibliográfica de um sistema supervisório Scada que possa avaliar em detalhes uma usina solar fotovoltaica, analisando o seu funcionamento, sua compensação ambiental e até mesmo as condições climáticas do local da instalação, justificando o investimento realizado.

2 – Referencial Teórico

2.1 – Sistemas Fotovoltaicos

O efeito fotovoltaico foi observado no ano de 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel, no qual foi constatado que determinados materiais semicondutores apresentavam capacidade de absorver a energia presente em fótons decorrentes da radiação luminosa. Essa energia era transformada em energia elétrica, originando uma corrente elétrica no material semicondutor.

No século XX, com o desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores, a tecnologia fotovoltaica se aprimorou e houve o crescimento da indústria fotovoltaica. No início as aplicações se restringiam ao uso aeroespacial e militar. Posteriormente passou a ser empregada para a geração de eletricidade em sistemas conectados à rede elétrica, que são as gerações distribuídas.

Em 1973, a crise do petróleo, iniciada a partir do momento em que se constatou que tal recurso não era renovável, fez com que algumas empresas norte-americanas buscassem diversificar seus investimentos, incluindo a geração de energia elétrica através da radiação solar (PINHO; GALDINO, 2014). Mas foi no ano 2000 que a utilização dos sistemas fotovoltaicos começou a crescer de fato.

Os sistemas fotovoltaicos oferecem inúmeras vantagens como: não possuir partes rotativas, tem uma vida útil longa, baixa manutenção, não gera poluição ou ruído, não requer combustível, é modulável e expansível, é leve e está disponível o ano todo para geração (MARINI; ROSSI, 2002).

Um sistema fotovoltaico é constituído de uma unidade de geração de energia, que é composta por módulos fotovoltaicos que são associados em série ou paralelos (ou em ambos) de acordo com a demanda de energia necessária que o sistema precise gerar. É composto também por uma unidade de condicionamento do sinal gerado, que por sua vez, é composta por um equipamento denominado de inversor de frequência, que terá a função de condicionar a geração de acordo com as especificações elétricas do local de consumo.

Os sistemas de geração conectados à rede elétrica convencional, não tem a necessidade de instalação de banco de baterias para armazenamento da energia gerada, já que ela será consumida diretamente pela unidade onde se encontra instalada e o restante será disponibilizado na rede elétrica principal. Esse tipo de sistema se configura como um complemento ao sistema elétrico convencional.

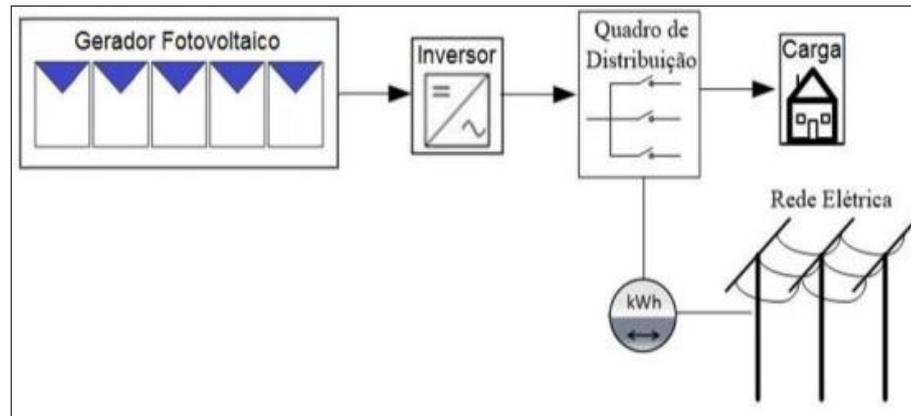


Imagem 01 – Sistema fotovoltaico conectado à rede.

Fonte: PINHO, GALDINO, 2014, p 294.

Estima-se que o tempo necessário para que incida sobre a terra uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual seja de aproximadamente 12 minutos. Em três semanas, a energia solar incidente sobre a terra equivale também a todas as reservas conhecidas de combustíveis fósseis como óleo, gás natural e carvão (RÜTHER, 2000).

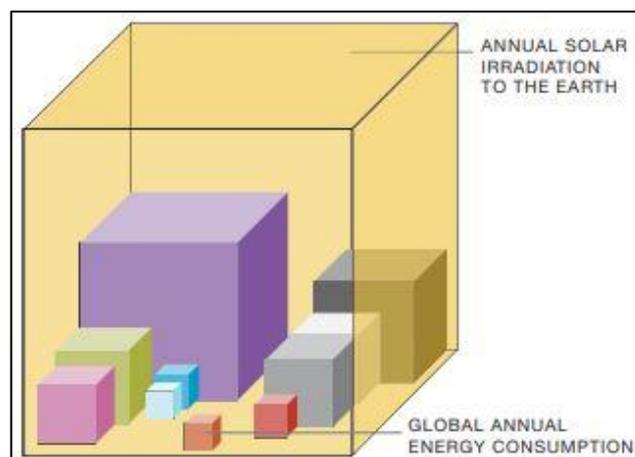


Imagem 02 – Irradiação solar anual / Consumo de energia anual.

Fonte: TESKE, MASSON, 2011.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do Brasil são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha, França e Espanha, locais onde a utilização de sistemas fotovoltaicos é amplamente disseminada e contam com incentivos governamentais (PEREIRA, et al., 2006).

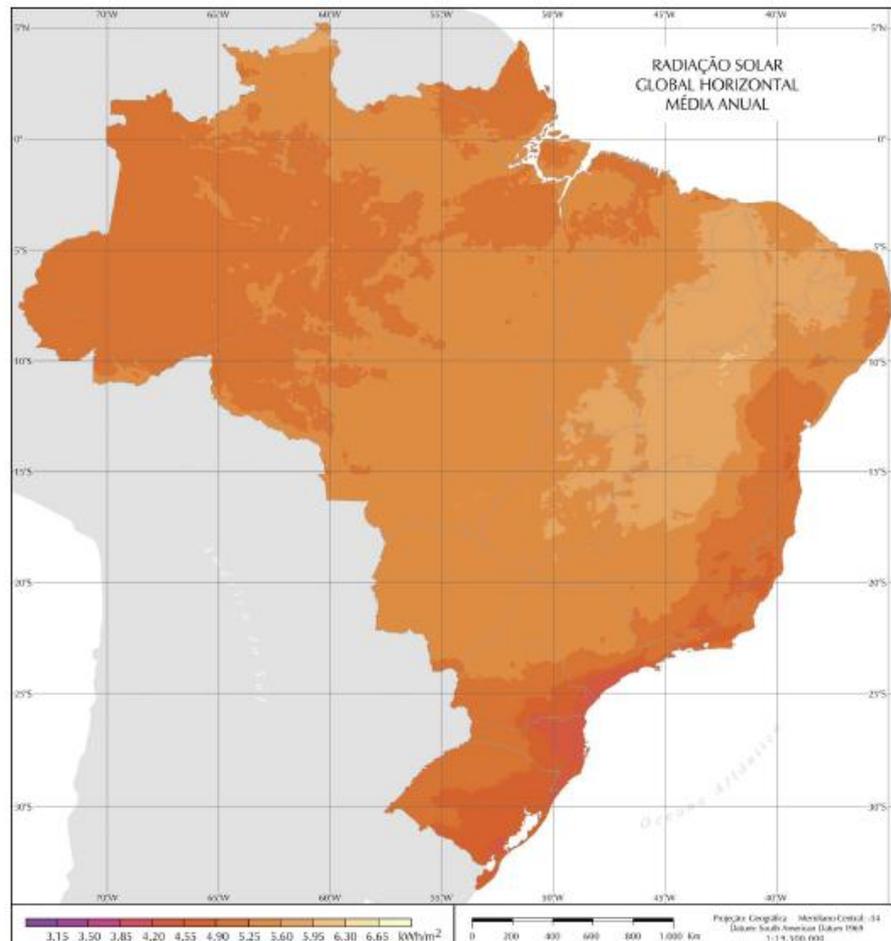


Imagem 03 – Mapa brasileiro de irradiação solar em média anual.

Fonte: PEREIRA, et al., 2006.

Sistemas de geração fotovoltaicos são muito seguros confiáveis, porém, devido a serem instalados geralmente em locais de difícil acesso, como telhados, por exemplo, ou são muito grandes, quando instalados na modalidade solo, e além de tudo serem silenciosos, há uma grande dificuldade na detecção de falhas, prejudicando o desempenho do sistema além do prejuízo financeiro pela ausência de geração. Para minimizar esse tipo de problema em sistemas de difícil acesso e de grande porte e complexidade, a implementação um sistema de supervisão e controle é uma ótima opção para aperfeiçoar a operação, coletando inicialmente valores dos parâmetros elétricos são importantes para avaliação, tendo como destaque a quantidade de energia gerada. Porém o sistema supervisorio pode ser utilizado para maiores e mais completo informações, como, velocidade do vento, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, neveis de partículas no ambiente, entre outros.

2.2 - Sistema Supervisório

De acordo com Cavalcante et. al (2016) existem vários tipos de sistemas que são utilizados para gerenciar, controlar e monitorar qualquer tipo de planta industrial ou não, sendo os mais difundidos, o Scada.

Sistema supervisório Scada é aquele que utiliza tecnologias de computação e comunicação para automatizar o monitoramento e o controle de processos industriais. Este sistema é parte integrante da maioria dos ambientes industriais complexos ou geograficamente dispersos, na medida em que podem coletar rapidamente os dados de uma quantidade grande de fontes, para depois serem apresentados a um operador de uma forma amigável. O sistema Scada melhora a eficácia do processo de monitoramento e controle, fornecendo a informação oportuna para poder tomar decisões operacionais apropriadas (PINHEIRO, 2006).

O termo Scada vem do inglês “*Supervisory Control And Data Acquisition*”, ou “Controle Supervisório e Aquisição de Dados” e se define como um sistema que permite supervisionar e controlar um processo produtivo ou instalação física, através da troca de informação entre uma estação central e uma ou mais unidades remotas. Através desses equipamentos é feita a aquisição de dados dos dispositivos de campo, fazendo-se necessário a utilização de redes de comunicação para atingir este objetivo. As informações coletadas são manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente apresentadas ao operador em multiplicidade de formas, através de uma interface de alto nível (COELHO, 2010).

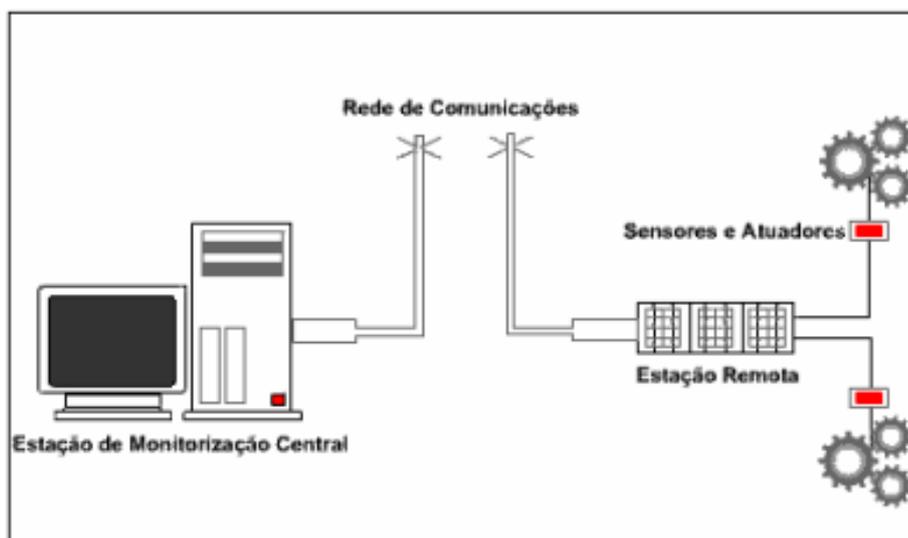


Imagem 04 – componentes físicos de um sistema supervisório SCADA.

Fonte: SALVADOS, SILVA, 2005.

Os sistemas supervisórios oferecem três funções básicas:

- Funções de supervisão: são todas as funções de monitoramento do processo tais como informações resumidas e animadas, gráficos de tendência e de variáveis analógicas e digitais, relatórios impressos, dentre outros;
- Funções de operações: é a ação direta sobre os atuadores, permitindo enviar comandos como ligar e desligar equipamentos ou sequência de equipamentos, operação de malhas com controle PID, mudança de modo de operação de equipamentos, assim como, diversos outros comandos programáveis;
- Funções de controle: Alguns sistemas possuem opções específicas para atuação automática sobre o sistema em determinadas situações pré programadas de acordo com a necessidade e possibilidade de ter esse tipo de automatismo sobre o processo supervisionado (VIANNA, 2008).

Alem de suas funções, existem também a arquitetura típica de um sistema Scada, que está relacionada com seus componentes, e podem ser divididos em:

- Operador: é o responsável por monitorar e interagir com o sistema. Executa remotamente as funções de controle e interpretar as informações fornecidas pelo supervisório;
- Interface Homem Máquina (IHM): interação entre os operadores e a estação central. Esta interface é constituída por software e hardware, que permite aos operadores monitorar o estado de um ou vários processos, modificando os valores de referência (*setpoint*), e suspendendo manualmente as operações de controle automático em casos de emergência. Apresenta também, através de gráficos as informações do processo, em que o operador pode visualizar um diagrama da planta que é controlada, a representação gráfica das estações remotas, os valores atuais dos instrumentos e a apresentação dos alarmes ativos. Como é ligada com o banco de dados do sistema Scada, promovem também registros, diagnóstico de dados, além de informação de administração como procedimentos de manutenção, informação de logística, detalhes de agendamento e guias para resoluções de problemas;
- Estação central ou unidade terminal mestre (MTU): principal unidade do sistema, responsável pela coleta, armazenamento e processamento das informações geradas pelas estações remotas e colocando à disposição dos

operadores através da IHM e dessa forma tomar as decisões necessárias. A taxa de transmissão de dados entre a estação central e a estação remota é relativamente baixa e o controle é feito normalmente em malha aberta, devido a possíveis atrasos de comunicação ou interrupção no fluxo dos dados (KRUTZ, 2006). É na estação central que todos os dados de entrada, de saída, os históricos, os alarmes e todos os demais dados são agrupados no banco de dados que se encontra no sistema Scada.

- Rede de comunicação: é a plataforma através da qual as informações de um sistema SCADA são transferidas. Para que a estação central se comunique com as estações remotas localizadas nas diversas posições da planta, mesmo estando distantes, e com diferentes computadores e redes que se encontram dentro da mesma rede, deve-se existir um link de comunicação para a transferência de dados de um ponto ao outro. Considerando as características do sistema e suas distancias, a infraestrutura de rede de comunicação pode ser implementada por internet, cabos ópticos seriais ou ethernet, cabos elétricos, redes sem fio, linhas dedicadas, linhas discadas, via rádio e outros (PINHEIRO, 2006).

- Estação Remota: é o conjunto de controladores lógicos programáveis para a aquisição de dados. Armazenam instrução em sua memória e em condições de programar funções de controle, como também lógica e aritmética, manipulação de dados, comunicação em rede, entre outras funcionalidades.

- Dispositivos de campo: são os sensores e atuadores que estão ligados à planta que se pretende monitorar e controlar pelo sistema SCADA. Os sensores têm a função de os dados físicos coletados como velocidade do vento, temperatura, entre outros programados para análise, em sinais digitais, legíveis pela estação remota. Com esses dados, os atuadores, como o próprio nome já diz, atuam sobre o sistema, ordenando o ligamento ou o desligamento de equipamentos.

- Processo físico: nada mais é do que a planta que se quer monitorar e controlar, com informações capturadas pelos instrumentos para a gerência e controle dos dados.

A troca de dados do sistema supervisor é feita através dos protocolos de comunicação padrão, como o MODBUS versão RTU (*Remote Terminal Unit - Unidade Terminal Remota*), (RS232/RS485) e TCP (*Transmission Control Protocol -*

Protocolo de Controle de Transmissão), padrão ethernet. A confiabilidade do sistema Scada é determinada pelo tipo de comunicação escolhido (PENIN, 2007).

2.2.1 - Protocolo MODBUS

O protocolo MODBUS é uma planta de dados e de mensagens para estabelecer a comunicação entre o mestre e o escravo, onde apenas um único dispositivo mestre pode inicializar a comunicação, também conhecida como *QUERY*. OS dispositivos escravos, respondem enviando os dados solicitados pelo mestre, ou realizam alguma ação solicitada. O dispositivo mestre pode endereçar cada dispositivo escravo da rede individualmente ou acessar a todos da rede através de mensagens. Quando o mestre envia uma mensagem endereçada a um escravo, apenas o dispositivo endereçado retorna uma resposta (*response*).

O formato das mensagens (*query*), definidas pelo protocolo MODBUS é estabelecido da seguinte forma:

- Endereço do escravo ou endereço para broadcast;
- Código da função que indica qual ação deve ser realizado;
- Parâmetros necessários para as funções;
- Campo Checksum (soma de verificação é um código usado para verificar a integridade de dados transmitidos através de um canal com ruídos ou armazenados em algum meio por algum tempo), para verificar a integridade dos dados.

Já o formato das respostas (*response*) seguem o mesmo modelo de uma *query*, porém são ajustadas obedecendo ao formato da função requerida:

- Confirmação da função;
- Parâmetros pertinentes às funções;
- Campo Checksum.

Na existência de algum erro de comunicação, ou se o escravo não estiver apto para atender a função requisitada, o dispositivo escravo monta uma mensagem denominada *exception*, a qual justifica o não atendimento da função.

2.2.2 – Protocolo TCP

Segundo Fielding et. al. (1999), em uma visão geral o termo “TCP/IP” pode significar muitas coisas relacionadas com os protocolos específicos do TCP e do IP. Isso pode incluir outros protocolos, aplicações e todo o meio da rede. O protocolo de controle de transmissão TCP, descrito na RFC 1180 (tutorial sobre o conjunto de protocolos TCP-IP, focando particularmente nas etapas de encaminhamento de um datagrama IP do host de origem para o host de destino por meio de um roteador), oferece um serviço diferente do UDP. O TCP oferece uma conexão de fluxo de *bytes* orientada, em vez de uma entrega de datagrama sem conexão de serviço. É usado por aplicativos de rede que exigem entrega garantida e não pode ser comprometido com a realização de *time-outs* e retransmissões. As aplicações de rede TCP populares incluem sistema X-Window, RCP (cópia remota). Para uma maior capacidade do TCP, é necessário um custo com mais CPU e largura de banda de rede.

2.3 - ScadaBR

O ScadaBR é um software livre, gratuito e de código-fonte aberto, para desenvolvimento de aplicações de Automação, Aquisição de Dados e Controle Supervisório. O público-alvo abrange profissionais de automação, universidades, escolas técnicas e empresas de todos os portes, que necessitam comandar máquinas diversas através de um computador, executar lógicas de automação, ou simplesmente visualizar dados de sensores, ambientes e processos industriais (SCADABR, 2017).

Criado em 2006 com algumas parcerias como a Unis Sistemas, *Conetec*, a Fundação CERTI e a Universidade Federal de Santa Catarina, com o intuito de criar um sistema supervisório Scada completamente gratuito, e em português. O projeto conquistou apoios importantes, como a FINEP, o SEBRAE, financiando assim o time de desenvolvimento do projeto. O ScadaBR é uma alternativa para comunicação com vários dispositivos, inúmeros registro de dados, construção de IHM (Interface homem-máquina), e automatização de processos em geral e compatível com os sistemas operacionais Windows, Mac, Linux, entre outros. A interface integralmente web permite acessar e controlar dispositivos e processos a partir de computadores, tablets e aparelhos de smartphones, através de rede de comunicação.

- Segundo Vianna (2008), é preciso elaborar um planejamento detalhado para a escolha do sistema supervisório, para que o mesmo seja o melhor possível.

Alguns critérios presentes na norma NBR 9241-10 (2000), devem ser aplicados no desenvolvimento do sistema Scada.

- Mensagens devem ser claras, explícitas e autossuficientes;
- As respostas ou explicações do sistema sejam apresentadas em uma terminologia consistente e adequadas ao nível de conhecimento do usuário;
- O usuário deve ser informado sobre as mudanças no estado do sistema;
- Mensagens usadas para tarefas similares devem ser similares, de modo que o usuário possa desenvolver procedimentos comuns para resolver estas tarefas;
- Os erros devem ser explicados para ajudar o usuário a corrigi-los;
- Necessidades e características do usuário podem requerer que situações de erros sejam postergadas, deixando ao usuário a decisão de quando tratá-las.

3 – Metodologia

O trabalho tem como objetivo a apresentação de um sistema supervisório que pode ser instalado em qualquer *layout* de uma usina fotovoltaica. Essa apresentação servirá como um instrumento de consulta aos profissionais da área, para o auxílio das tomadas de decisões referente à viabilidade ou não da implantação do sistema supervisório, assim como, para o acompanhamento das intempéries que possam interferir na geração que esperada da usina.

O projeto do sistema supervisório esta sendo feito juntamente com o projeto de uma usina solar fotovoltaica que se encontra em na fase de projetos e será instalada em uma indústria no interior do estado do Espírito Santo, na modalidade em solo, onde o acompanhamento das variáveis dessa usina tem um nível de dificuldade maior, por se tratar de um projeto grande, com vários inversores, varias mesas de painéis solares e uma área onde teremos bastante poeira e partículas liberadas dessa usina. O projeto dessa usina solar, servirá como base de estudo e demonstração do projeto de implantação do sistema supervisório, onde mostraremos os principais pontos a serem observados e as configurações do sistema.

3.1 – Energia Solar Fotovoltaica

A energia obtida por meio de fontes solares é uma modalidade bastante utilizada em países como China, Japão, Alemanha e Estados Unidos (PORTAL

SOLAR, 2017). A redução acentuada no custo de produção (equipamentos que geram a energia elétrica através da irradiação solar), no período dos últimos 20 anos tem se tornado fundamental na evolução e utilização dessa energia no mundo, sendo viável até mesmo em locais que contam com energia elétrica convencional.

Entre as décadas de 1950 e 1970, a utilização de energia solar era voltada para o campo espacial, como exemplo, a energização de satélites espaciais, porém nos primeiros anos da década de 1970, a ameaça de colapso mundial provocada pelas crises do petróleo forçou grandes empresas a focarem seus investimentos no desenvolvimento de energias alternativas, no qual a energia solar fotovoltaica foi uma das modalidades que mais se destacou e conseqüentemente mais recebeu investimentos. Já na década de 1980 muitas aplicações foram sendo desenvolvidas com a utilização de energia solar fotovoltaica. Com isso, pessoas de locais afastados passaram a ter possibilidades, graças à utilização de fontes alternativas de energia. Assim, a comunidade técnica passou a utilizar a energia solar fotovoltaica em projetos de comunicação, eletrificação rural, bombeamento de água, sinalização marítima e muitos outros. No início da década de 1990, a produção dos módulos fotovoltaicos passou a ser feita em larga escala.

Para o entendimento do funcionamento do sistema supervisor que será indicado para uma instalação fotovoltaica, primeiro é preciso entender o funcionamento de uma usina solar, assim como os parâmetros para o dimensionamento dessa usina.

O rendimento de uma usina fotovoltaica depende de diversos fatores, como: a irradiação solar (indicada pela sua localização geográfica, inclinação e orientação), a temperatura dos painéis, os possíveis sombreamentos parciais, a limpeza dos painéis e até mesmo a resistência dos condutores. O sistema fotovoltaico apresenta combinações série x paralelo para atingir as características elétricas da carga, sendo também importante para a seleção do inversor a ser usado. Os módulos fotovoltaicos são conectados a um ou mais sistema inversor que faz a interface com a rede elétrica local, sendo obedecidas as normas de instalação em vigor de cada região.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam duas configurações, que podem ser: isolados (ou autônomos) e conectados à rede elétrica. A diferença entre eles destaca-se pela existência ou não de um sistema acumulador de energia (Baterias).

- **Sistemas Autônomos:** se caracterizam pela necessidade de um sistema acumulador (baterias), onde a energia gerada pelos painéis solares é armazenada e distribuída para os pontos de consumo. Esse sistema é atualmente competitivo com formas mais convencionais de geração e são normalmente utilizados quando o custo para a extensão da rede elétrica pública for proibitivo ou não viável.

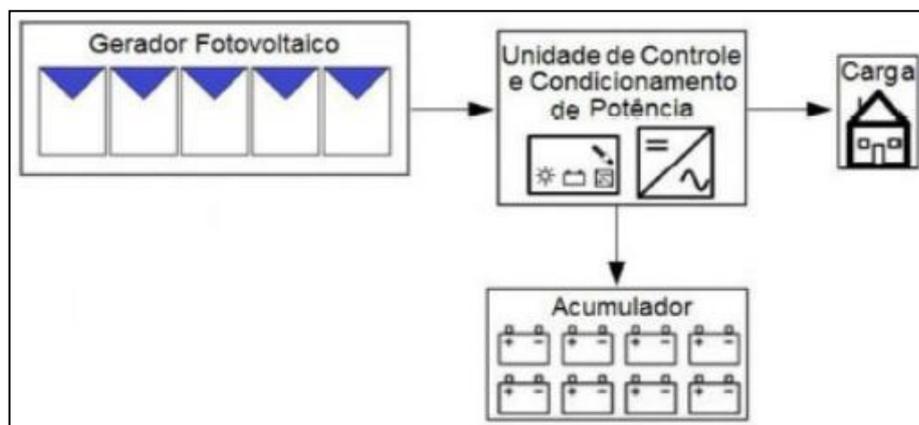


Imagem 05 – Configuração Básica de um Usina Fotovoltaica Isolada.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

- **Sistemas Interligados à Rede Elétrica:** dispensam o uso de baterias (acumuladores de energia), pois atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo à rede elétrica. Podem ser integrados à edificação, se sobrepondo ou substituindo elementos de revestimento e, portanto, próximo ao ponto de consumo, ou, do tipo central geradora, sendo esta, distante tipicamente do ponto de consumo (RÜTHER, 2004).

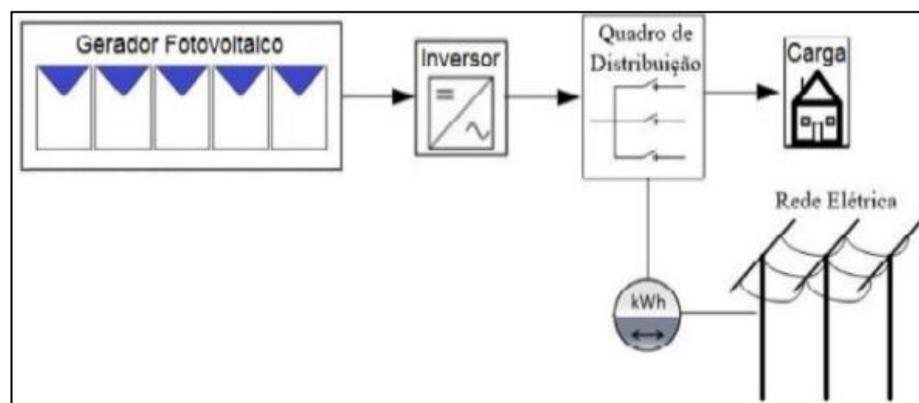


Imagem 06 – Configuração Básica de um Usina Fotovoltaica Conectada à Rede.
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014.

Os painéis solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem utilizados em ambiente externo, sob o sol, chuva e outros agentes climáticos, podendo operar, nessas condições, por um período de aproximadamente 30 anos, sendo seu efeito um processo físico-químico onde há a criação de tensão ou corrente elétrica em um material após a sua exposição à luz (fótons), (RÜTHER, 2004). Este fenômeno ocorre nas células fotovoltaicas, que sofrem um processo chamado de “**dopagem**”, para aumentar a eficiência da geração de energia elétrica (CASTRO, 2002).

O menor elemento do sistema fotovoltaico é a célula, e um conjunto de células forma o que se chama de módulo fotovoltaico, que podem ser ligados em série, formando uma **string**. O conjunto de strings ligados em paralelo forma o que chamamos de arranjo. Tanto as células dentro de um módulo, quanto as strings dentro de um arranjo podem ser ligadas em série e/ou paralelo de forma a obter o nível de tensão e corrente desejado (CEPEL-CRESESB, 2014).

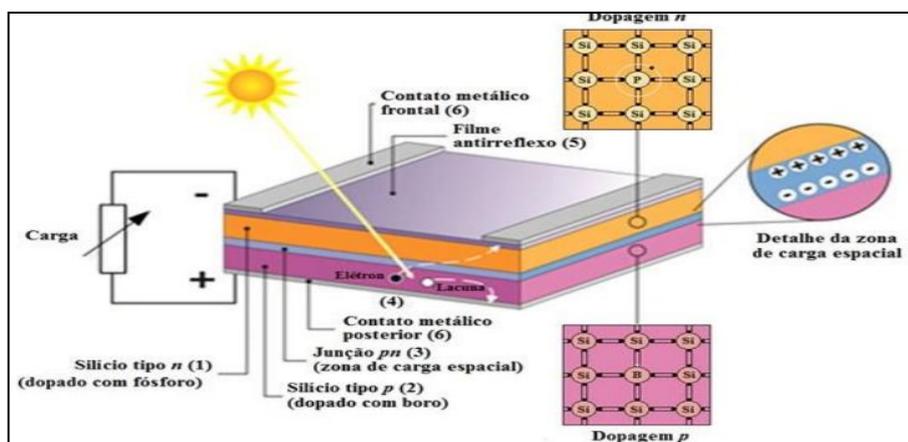


Imagem 07 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.

Fonte: CEPEL-CRESESB (2014).

3.2 - Componentes de sistemas fotovoltaicos

3.2.1 - Módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é a unidade básica do sistema de uma usina fotovoltaica, responsável pela captação direta da luz solar para a geração de energia.



Imagem 08 – Modulo Fotovoltaico.
Fonte: Próprios Autores.

O número de células em um módulo depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada. O agrupamento em módulos é necessário, pois uma célula fornece uma tensão em torno de 0,4 Volts no ponto de máxima potência e a densidade de corrente é de 30 mA/cm². Dessa forma, tensões mais altas são produzidas quando as células são conectadas em série no módulo. De maneira semelhante ao que ocorre com as células fotovoltaicas, o desempenho dos módulos fotovoltaicos é fundamentalmente influenciado pela irradiância solar e pela temperatura das células (GTES, 2004).

Com a variação da intensidade de radiação solar incidente em um painel fotovoltaico, ocorre uma variação proporcional na corrente gerada por este painel, e com a alteração da temperatura da célula fotovoltaica, a corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico apresenta poucas variações, porém, com o aumento da temperatura, a tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico apresenta uma diminuição mais significativa em seus valores, em consequência com aumento da temperatura o ponto de máxima potência da curva diminui (SEGUEL, 2009).

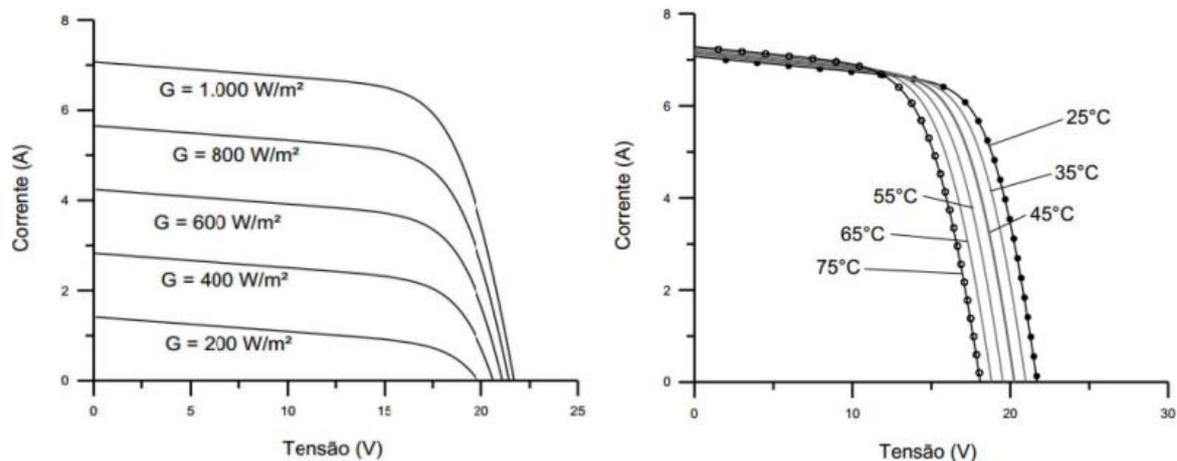


Imagem 09 – Efeito da Variação de Irradiância Solar e Influência da Temperatura da Célula Fotovoltaica.

Fonte: GTES (2014).

3.2.2 - Inversores

Outra unidade básica do sistema de uma usina fotovoltaica é o inversor solar, que é um dispositivo eletrônico com objetivo de converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos em corrente alternada (CA) com as mesmas características de tensão, frequência, conteúdo de harmônicos e forma de onda para devolvê-la à rede elétrica (RÜTHER, 2004).



Imagem 10 – Inversor SolarEdge 75KW

Fonte: Próprios Autores.

3.3 – Projeto da Usina Solar Fotovoltaica

O projeto que está sendo elaborado, para a instalação da usina solar em solo e que servirá como base de estudo para o sistema supervisor, esta sendo elaborada pela empresa Equipo Soluções Engenharia Ltda.

A Equipo Soluções Ltda., teve sua fundação no ano de 2021 e sua atuação vai desde a engenharia de Projetos elétricos, montagens elétricas, projeto e montagem de CCMs e QGBTs, além de atuação em projetos e instalações de usinas fotovoltaicas. Situada em Serra - ES, a Equipo Soluções Ltda., tem com objetivo atuar na área de instalações elétricas residências, comerciais e industriais, projetos e execuções de obras em alta, média e baixa tensão. Com técnicas e métodos de trabalho diferenciados, a Equipo tem o objetivo de conquistar o mercado, atendendo seus clientes de forma única e especial, analisando cada caso com soluções rápidas, seguras e economicamente viáveis.



Imagem 11 – Logo da Empresa Equipo Soluções Engenharia Ltda.
Fonte: Próprios Autores.

O projeto que esta sendo elaborado pela Equipo Soluções, contará com 1002 módulos fotovoltaicos de 355 W cada, totalizando 355,71 KWp de potencia. Para esse projeto, a empresa esta dimensionando 03 (três) inversores da Ecori, modelo SolarEdge de SE-75KW e 02 (dois) inversores da Ecori, modelo SE-27,6KW.

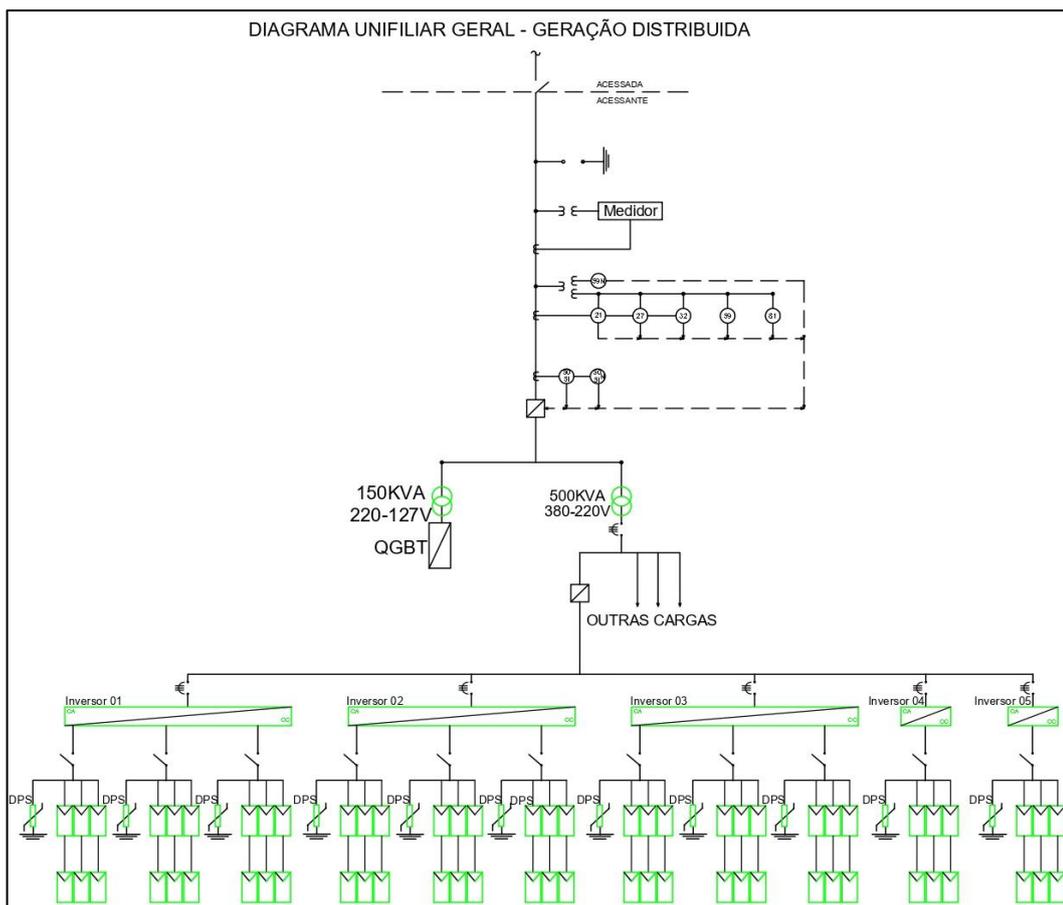


Imagem 12 – Diagrama Unifilar de uma Usina Solar Fotovoltaico em Solo.

Fonte: Próprios Autores, 2021.

A disposição dos painéis fotovoltaicos esta sendo projetada em 17 (dezesete) mesas, sendo 03 (três) mesas com 64 módulos fotovoltaicos, 13 (treze) mesas com 60 módulos fotovoltaicos e 01 (uma) mesa com 30 módulos fotovoltaicos, totalizando assim, 1002 módulos. Para a implementação do projeto, a Equipe Soluções irá utilizar uma área existente no local da instalação totalizando uma área de 2500 m² e de 2004 m² de captação da luz solar.

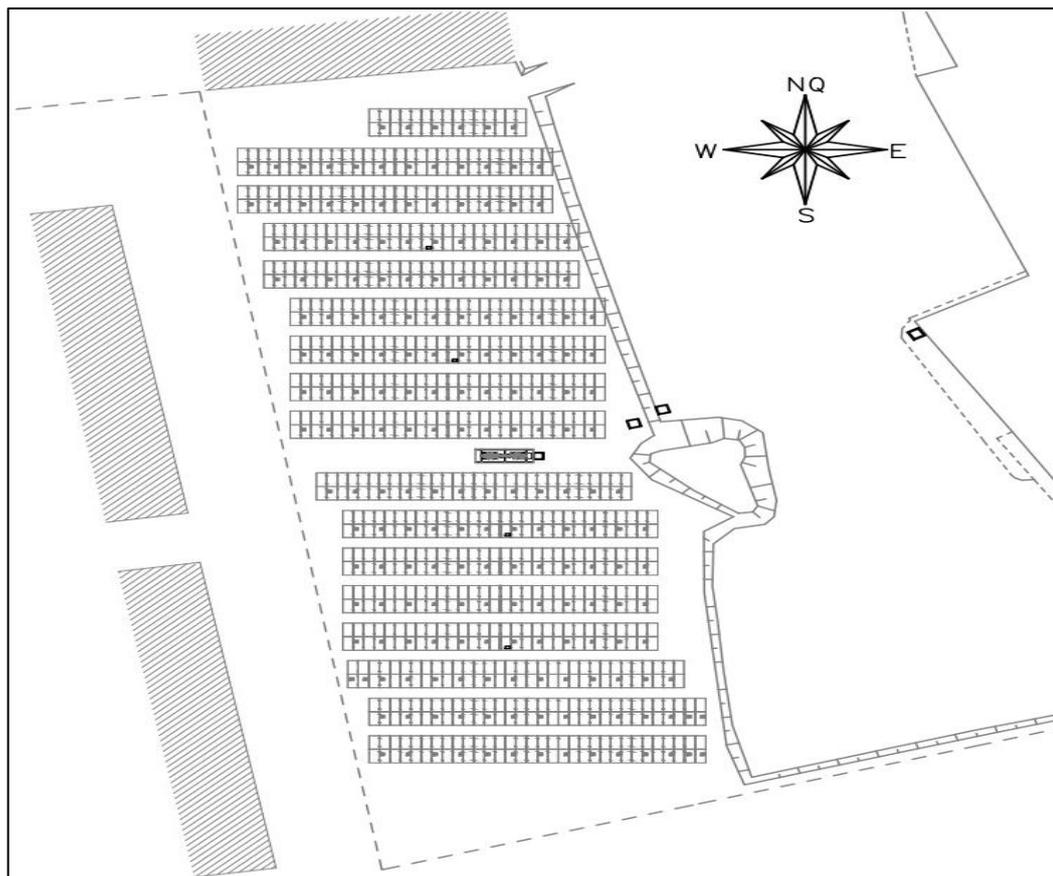


Imagem 13 – Disposição das Mesas da Usina Solar Fotovoltaico.

Fonte: Próprios Autores, 2021.

Após uma visita à indústria em que será instalada a usina fotovoltaica pela equipe técnica da Equipe Soluções, pode se constatar que no local de instalação, há algumas particularidades e intempéries que podem interferir diretamente na eficiência final do sistema de geração fotovoltaico, como por exemplo: pontos de sombreamentos em algumas extremidades da usina, poeira gerada pelos caminhões de carga da indústria, uma vez que passam ao lado da usina fotovoltaica. Outro ponto que foi visualizado pela equipe técnica que realizou a visita no local, foi o tamanho da planta da usina fotovoltaica.

A manutenção preventiva de uma usina do porte que esta sendo projetada é sempre um ponto de atenção. Para que se possam otimizar essas manutenções, esta sendo realizando um projetos em paralelo ao da usina, que é a criação de um sistema supervisorio instalado junto à usina solar fotovoltaica. O intuito da instalação do supervisorio é o acompanhamento não dos alertas para manutenções, mas também das variações climáticas, assim como, a interferência na eficiência de geração da usina fotovoltaica, gerada pelas próprias atividades da empresa que

contratou o projeto e a instalação, instalando uma estação solarimétrica, necessária para a aquisição de dados climáticos para utilização no sistema Scada na usina fotovoltaica.

3.4 – Estação Solarimétrica

Uma estação solarimétrica é o conjunto de instrumentos e sensores, cuja função é obter dados das variáveis presentes no ambiente, como por exemplo, temperatura do ar, pressão atmosférica, chuva, velocidade e direção do vento, umidade do ar, dentre outras. Em um monitoramento do ambiente de uma usina fotovoltaica, as variáveis que geram uma interferência (positiva ou negativa), na usina são a velocidade do vento, o nível de irradiância, a temperatura ambiente e temperatura dos módulos fotovoltaicos. Com a aquisição dessas variáveis, será possível fornecer uma análise mais detalhada a respeito da influência externa de variáveis do ambiente no desempenho e vida de uma usina solar com muito mais precisão e confiança, armazenando e transmitindo para análise e tomadas de decisões.

3.4.1 - Sensores

Sensor é o termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica ou cinética. Tal dispositivo relaciona informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como, temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, entre outras (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011).

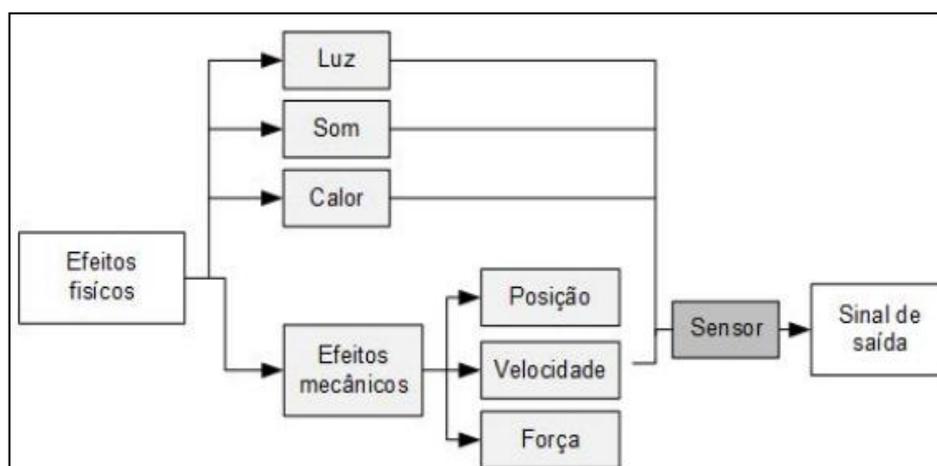


Imagem 14 – Ilustração das Formas de Energia em um Sensor.

Fonte: Adaptado de Thomazini e Albuquerque, 2011.

Os sensores podem ser classificados de acordo com a natureza do sinal de saída, em sensores analógicos e sensores digitais. Os sensores analógicos podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Já os sensores digitais podem assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como zero ou um.

Na natureza não existem grandezas físicas que assumam esses valores, mas eles são assim mostrados ao sistema de controle após serem convertidos pelo circuito eletrônico do transdutor (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011).

Para a estação solarimétrica que será empregada junto ao projeto, serão utilizados os seguintes sensores para obter as grandezas físicas correspondentes:

3.4.1.1 - Sensor Para Irradiância

A coleta da variável de irradiância será feito a partir do sensor de irradiação Spektron 210, que oferece a possibilidade de avaliar a irradiação entre 0 e 1500 W / m² e uma tensão proporcional à intensidade da irradiação solar. Além disso, a tensão medida pode ser convertida na unidade de irradiação (W / m²), utilizando o valor de calibração impresso no sensor. O sensor é construído a partir de material semicondutor com elevada resistência elétrica. Quando a luz que incide sobre o semicondutor tem uma frequência suficiente, os fótons que incidem sobre o semicondutor libertam elétrons para a banda condutora que irão melhorar a sua condutividade e assim diminuir a resistência.

Os Sensores serão presos com o suporte nas mesas da usina fotovoltaica, criando a possibilidade de avaliar a irradiação solar em vários pontos da planta. Deve-se ter cuidado para que o sensor tenha a mesma inclinação e orientação do sistema fotovoltaico a ser examinado, pois mesmo com pequenos desvios, pode resultar em erros de medição.



Imagem 15 – Sensor Spektron 210.
Fonte: Tritec Energy, 2021.

3.4.1.2 - Sensor Para Temperatura

Para o acompanhamento das temperaturas em vários pontos da usina fotovoltaica, será utilizado o sensor eletrônico LM35, que é um circuito integrado, especialmente desenvolvido para medir temperatura de ambientes e são disponibilizados em diversos tipos de encapsulamentos onde o mais comum é o tipo TO-92, e apresenta ótimo custo benefício, principalmente por não afetar seu desempenho. Seu circuito foi projetado de forma a não necessitar de calibração para fornecer exatidão nos valores apresentados e seu funcionamento é simples e de fácil manuseio sendo necessário apenas alimentação com tensão de 5 volts corrente contínua para que o mesmo possa produzir resultados.

Este circuito fornece resultados na escala de graus celsius sendo que para cada 10 milivolts correspondem a 1°C de temperatura e pode apresentar uma variação de 1/4°C ou até 3/4°C dentro da faixa de temperatura de -55°C á 150°C (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

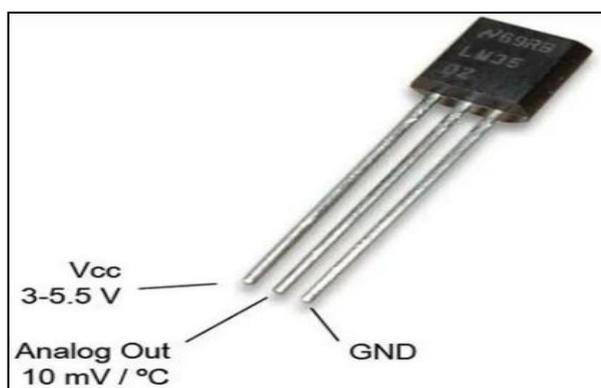


Imagem 16 – Sensor LM35 TO92.
Fonte: NATIONAL SEMIDUCTOR, 2000.

3.4.1.3 - Sensor Para Velocidade do Vento

Para a medição de velocidade do vento, será usado o anemômetro digital mini, modelo AN1M com Voltagem máximo de entrada recomendada entre 3 e 12V, que é um equipamento capaz de medir a velocidade do vento. A maioria dos anemômetros é formada por ventoinhas passíveis a girar quando expostas ao vento.

Existem vários modelos de anemômetros onde são diferentes em formatos e principalmente no método de medição. Entre os principais modelos, podem-se citar os rotacionais, os de tubo de pressão, os de deflexão, os termoeletricos e os ultrassônicos (PINTO, 2006).

Para esse projeto será utilizado o modelo de anemômetro rotacional, por ser o mais simples e o de melhor custo benefício. Seu funcionamento é baseado na velocidade em que gira, gerando a informação da velocidade do vento que passa por eles. Este modelo possui uma grande vantagem em relação aos demais modelos, pois o mesmo permanece em contato permanente com o ar, obstruindo o fluxo de passagem para medir a velocidade do vento (PINTO, 2006).



Imagem 17 – Anemômetro Digital Mini AN1M
Fonte: WRF Comercial, 2021.

3.5 – Medições elétricas

3.5.1 - Sensor Para Tensão AC

Para a medição de tensão AC, será o sensor de detecção de tensão ESP8622 NodeMcu ESP-12E, com um circuito composto por um optoacoplador 4n25, que assegura o isolamento da tensão AC e na sua entrada um resistor de 220K Ω , para limitar a corrente de passagem. O sensor ESP8622 possui uma interface USB serial e um regulador de tensão 3.3V, e sua programação pode ser feita usando o Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb.



Imagem 18 – ESP8622 NodeMcu ESP-12E
Fonte: Próprios Autores, 2021.

3.5.2 - Sensor Para Corrente AC e Corrente DC

Para os dados de corrente AC ser captados, será utilizado o sensor de corrente ACS712ELC-30A, que possui uma entrada de corrente bidirecional e produz uma tensão analógica proporcional de 66 mV / A, com tensão de operação de 5V.

Será utilizado um sensor para a medição AC e um sensor DC, em cada um dos pontos que se fará necessário.



Imagem 19 – ACS712ELC-30A
Fonte: Próprios Autores, 2021.

3.5.3 - Sensor Para Tensão DC

Para os dados de tensões e correntes contínuas, será o sensor MAX 471 - modelo GY-471, com escala de teste de tensão de 3 a 25V e faixa de teste de corrente de 0 a 3A.

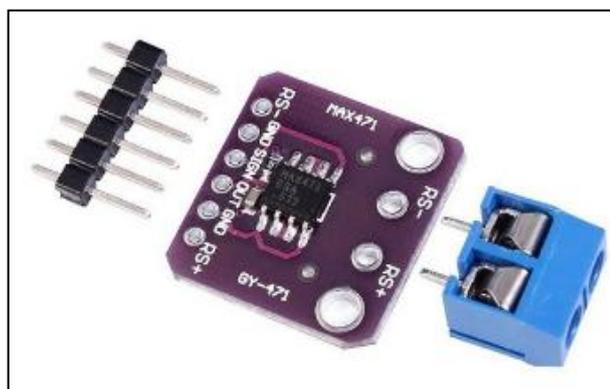


Imagem 20 – MAX 471-GY471
Fonte: Próprios Autores, 2021.

3.6 – Aplicação do Sistema Supervisório à Usina Solar Fotovoltaica

O sistema Scada é integrado por varias fases dentro da planta a ser supervisionada. A aplicação desse estudo será feita em uma usina solar fotovoltaica que esta na fase de planejamento e terá o intuito de adquirir e supervisionar dados dessa usina. O produto final deverá ser um sistema supervisório capaz de gerar informações através de relatórios e gráficos, de acordo com a configuração final do sistema, da usina solar fotovoltaica e da estação solarimétrica.

3.6.1 – Descrição

A usina fotovoltaica que será instalada pela empresa Equipo Soluções Engenharia Ltda. será composta por:

- 1002 módulos fotovoltaicos;
- 03 inversores Ecori – SolarEdge SE 75K;
- 02 inversores Ecori – SolarEdge SE 27,6K;
- Quadro de distribuição de energia;
- Dispositivos de proteção contra surto, disjuntores, infraestrutura e todos os periféricos necessários para o funcionamento da usina.

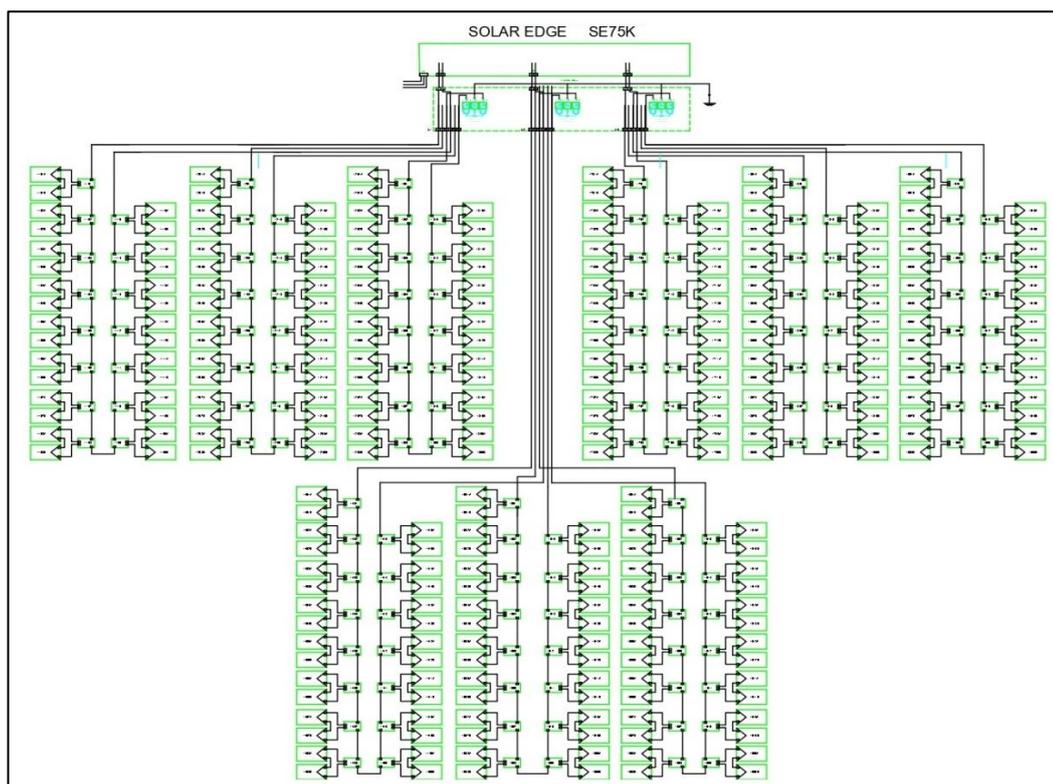


Imagem 21 – Esquema Multifilar dos Inversores 75K

Fonte: Próprios Autores, 2021.

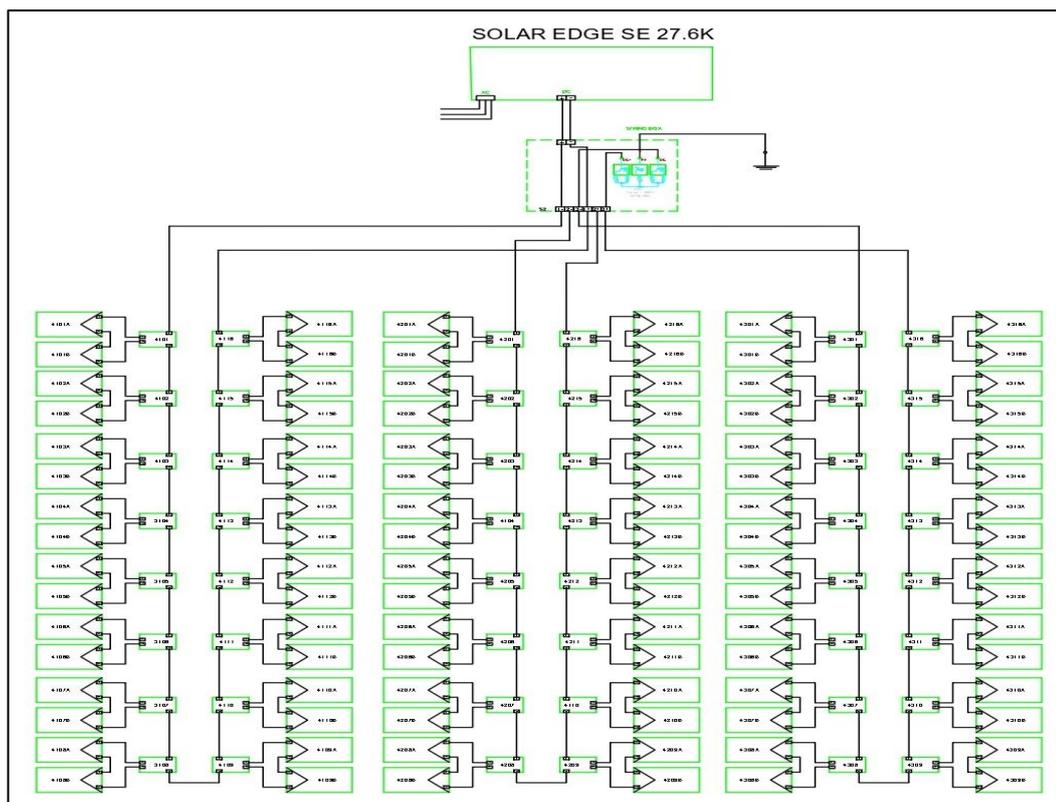


Imagem 22 – Esquema Multifilar dos Inversores 27,6K
Fonte: Próprios Autores, 2021.

No período dia, os módulos fotovoltaicos captam a luz solar e geram energia. A incidência direta da radiação solar faz com que as células fotovoltaicas apresentem a melhor eficiência na conversão da radiação solar em energia elétrica, pois, quanto mais luz direta o painel solar recebe, mais energia será gerada, ocorrendo então a liberação de corrente elétrica contínua, captada pelos filamentos condutores do módulo fotovoltaico. A corrente então é enviada para os inversores solares, aparelho que transforma essa energia de corrente contínua para corrente alternada, de acordo com as características da rede elétrica local. O inversor converte a corrente contínua para corrente alternada com forma de onda senoidal, da qual sua característica mais importante é a frequência. No Brasil, a frequência adotada para os circuitos de corrente alternada é 60 Hz.

Depois de passar pelo inversor, a energia solar pode ser usada para alimentar qualquer aparelho que utilize energia elétrica dentro da empresa como computadores, iluminação, aparelhos de solda, máquinas e motores, câmeras frias, entre outros. Caso a energia não seja toda consumida, o excedente é lançado na rede elétrica, sendo contabilizados pelo medidor da concessionária e retornados em forma de créditos ao final do mês para a empresa.

O sistema também conta com dispositivos de segurança para detectar sobre tensões transitórias na rede elétrica e desviar as correntes de surto. Estes distúrbios, são muito comuns podendo ocorrer diariamente em ambientes residenciais, comerciais e industriais.

O inversor solar serão 03 (três) do modelo SolarEdge SE 75K com potência nominal de 74400W e tensão máxima em corrente contínua de 1000V, e mais 02 (dois) inversores do modelo SolarEdge SE 26,7k com potencia nominal de 26400W e tensão máxima em corrente continua de 900V.

A usina possuirá um *Skid*, onde serão instalados todos os inversores, o quadro de distribuição e o módulo, que será utilizado como meio físico para o protocolo de comunicação Modbus.

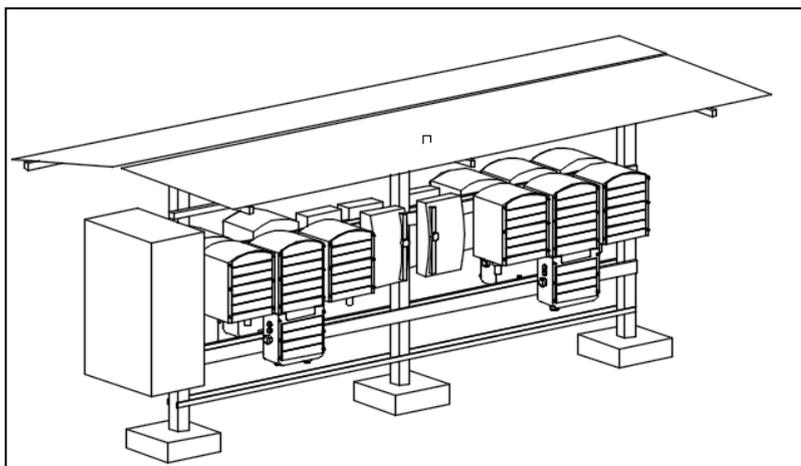


Imagem 23 – Skid

Fonte: Próprios Autores, 2021.

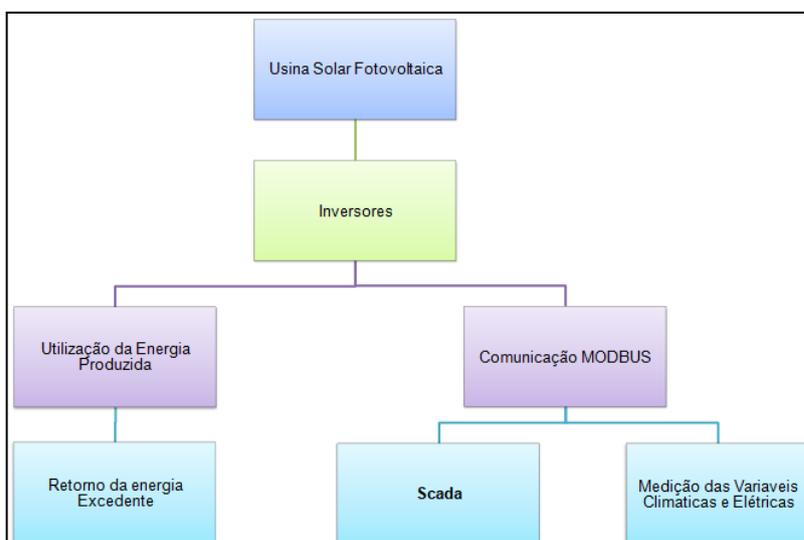


Imagem 24 – Fluxograma do Sistema Supervisório

Fonte: Próprios Autores, 2021.

3.6.2 – Configuração dos TAGS

Para que o inversor e o sistema supervisorio possam se comunicar, será utilizado o endereço de memória do próprio inversor. As variáveis serão representadas por TAGS, que serão utilizados em diversos locais, e serão variáveis envolvidas no processo que serão exibidas nas telas do supervisorio e monitoradas pelo sistema de alarme desse sistema.

Endereço	TAG	Sensor	Função
Tab_reg (0)	Irradiância	Sensor de irradiação Spektron 210	Calcular a irradiância incidente nos setores da usina.
Tab_reg (1)	Temperatura	Sensor eletrônico LM35	Medir a temperatura ambiente no local da usina.
Tab_reg (2)	Vento	Anemômetro AN1M	Medir a velocidade do vento na usina.
Tab_reg (3)	Tensão AC	Sensor ESP8622	Medir a tensão da usina em AC
Tab_reg (4)	Corrente AC	Sensor ACS712ELC-30A	Medir a corrente da usina em AC
Tab_reg (5)	Corrente DC	Sensor ACS712ELC-30A	Medir a corrente da usina em DC
Tab_reg (6)	Tensão DC	Sensor MAX 471GY-471	Medir a tensão da usina em DC
Tab_reg (7) - 40016	Potencia Fotovoltaica	Inversor	Potencia fotovoltaica no momento atual
Tab_reg (8) - 30797	Eficiência Energética	Inversor	Energia produzida pela usina
Tab_reg (9) - 40224	Status	Inversor	Status de operação do inversor
Tab_reg (10) - calcCO2	CO2q	Scada	Quantidade de Redução (kg) de CO2 evitados
Tab_reg (11) - calcR\$	cfeq	Scada	Compensação financeira com a energia produzida

Tabela 01 – Organização da variáveis do sistema supervisorio

Fonte: Próprios autores, 2021.

3.6.3 – Planejamento do Sistema Supervisorio

O sistema supervisorio SCADA possui diversas funcionalidades, dentre elas, a capacidade de armazenar informações utilizadas em um banco de dados. Esses dados serão gravados em intervalos de tempo que podem ser definidos em sua

configuração, inclusive, informações como data, hora e nome do usuário, para consulta futura.

Neste projeto faremos a definição de quatro tipos de históricos diferenciados pelo intervalo de tempo total exibidos, sendo: diário, mensal, anual e total, que serão exibidos em formas de gráficos na tela geral do supervisor. Os históricos também poderão ser acessados em uma determinada aba específica do sistema, que são os relatórios, a qual fornecerá acesso aos gráficos dos bancos de dados gerais salvos, além da opção de impressão em determinados intervalos de tempo definidos pelo usuário.

O relatório deverá seguir o modelo de documentação que a empresa determinar, contendo logo, nome, endereço e informações de contato na parte superior, seguido pela tabela com as informações do período escolhido e ao final da página constará informações de data e hora em que o relatório foi gerado.

3.6.4 Definição e elaboração dos layouts

A interface homem-máquina deverá combinar as telas com a correta funcionalidade dos recursos inseridos, de forma a facilitar ao máximo o entendimento do processo por parte do operador. Todas as configurações do supervisor escada serão feita na tela inicial, onde serão definidos todos os objetos, TAGs, telas e outros componentes da aplicação da usina solar.

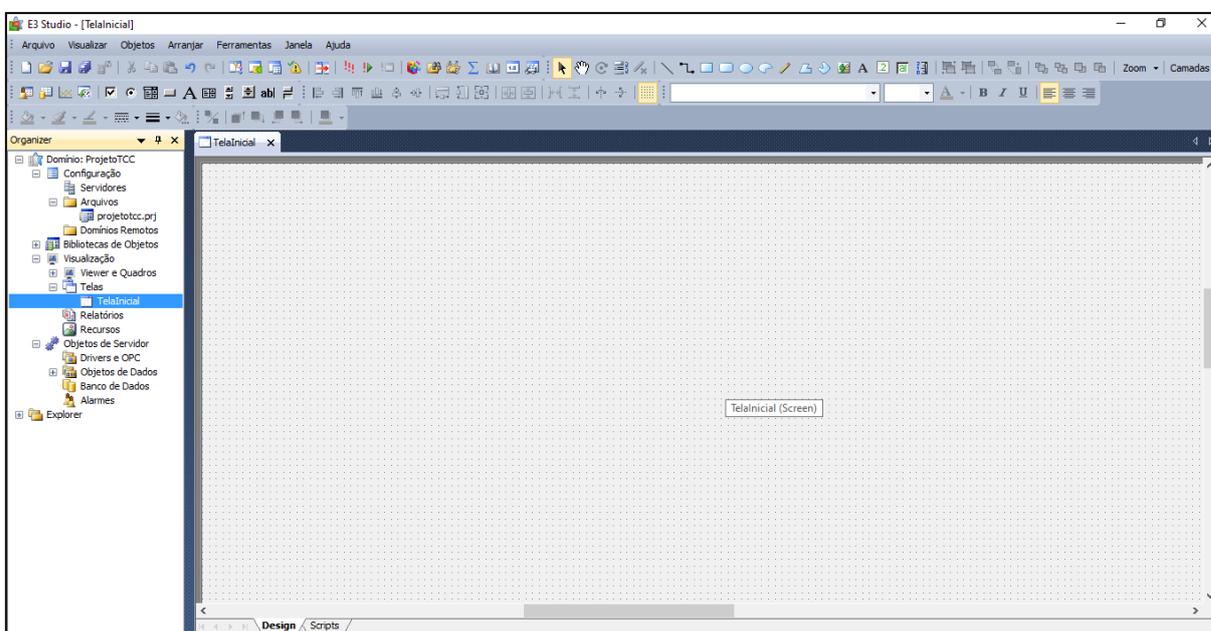


Imagem 25 – Área de trabalho inicial Sistema Supervisor
Fonte: Próprios Autores, 2021.

- **Barra de Título** - mostrará o caminho e o nome da aplicação, bem como o título da Tela sendo mostrada correntemente na área de trabalho;
- **Barra de Menus** - mostrará as diversas ações que poderão ser executadas pelo usuário;
- **Barra de Status** – mostrará as informações sobre a ação que estará sendo executada pelo usuário;
- **Barra de Ferramentas** - mostrará os objetos, os componentes e demais recursos que poderão ser utilizados pelo usuário e permitirá a execução de determinadas tarefas rapidamente, sem precisar utilizar os menus.

3.6.5 Criação de hierarquias

As hierarquias de navegação das telas fornecerão detalhes da usina fotovoltaica. Será aplicada uma estratégia de organização para tornar o sistema claro e consistente com a realidade da indústria onde será implantado o projeto da usina, assim como, o quantitativo de telas, que será definida conforme a necessidade de cada processo, levando em conta as telas necessárias para o desenvolvimento de um supervisório com organização e qualidade.

3.6.6 Determinação de alarmes

Para identificação dos alarmes serão levadas em conta as informações do projeto da usina fotovoltaica e análise dos pontos críticos do sistema e a funcionalidade do mesmo quando houver problemas em algum sensor instalado.

Após a identificação, os alarmes serão divididos em níveis de segurança e prioridade e em seguida organizados em uma tabela, que serão armazenados em um histórico detalhado, e disponibilizados ao operador do supervisório para as tomadas de decisões quando o disparo de um alarme ocorrer. Inicialmente os alarmes serão feitos de acordo com a tabela criada, podendo ser feitos ajustes, de acordo com a demanda, após a implantação da usina e do sistema supervisório.

Alarme	Prioridade	Reconhecimento	Solução
Temperatura	100%	Imediato	Verificação do sensor; Acionar equipe de manutenção.
Tensão AC	100%	Imediato	Acionar equipe de manutenção
Corrente AC	100%	Imediato	Acionar equipe de manutenção
Corrente DC	80%	Imediato	Verificar o funcionamento do inversor; Acionar equipe de manutenção.
Tensão DC	80%	Imediato	Verificar o funcionamento do inversor; Acionar equipe de manutenção.
Irradiação	60%	Semanal	Acionar equipe de manutenção e equipe de limpeza.
Inversor	60%	Semanal	Verificar o funcionamento do inversor; Acionar equipe de manutenção.
Inversor	60%	Semanal	Acionar equipe de manutenção e equipe de limpeza.
Velocidade do vento	40%	De acordo com a situação	Verificar a estabilidade das mesas.
Inversor	40%	De acordo com a situação	Verificar conexão.
CO2	20%	Mensal	Relatório.
Financeiro - R\$	20%	Mensal	Relatório.

Tabela 02 – Alarmes e prioridades do sistema supervisorio

Fonte: Próprios autores, 2021.

3.6.7 Gráficos

Serão elaboradas telas de gráficos com o objetivo de fornecer ao operador a visualização do valor das variáveis ao longo do tempo, possibilitando que seja feito um controle estatístico do processo e detalhar o planejamento de melhorias na eficiência da produção de energia solar.

Na tela geral serão exibidos gráficos de tendência, junto com as informações coletadas pelo sistema de aquisição de dados do sistema. Os TAGs que farão referências à quantidade de energia produzida pela usina fotovoltaica, serão configuradas de forma que permita prever a compensação ambiental e financeira que serão geradas e que possam realizar uma comparação com dados anteriores para verificar se a eficiência da usina permaneceram constante ou se a mesma precisará de manutenção.

3.6.8 Comunicação

O sistema supervisório utilizará *drivers* de comunicação para a troca de dados com os dispositivos da usina fotovoltaica, como os inversores, os sensores de temperatura, de irradiância, de velocidade do vento, e demais sensores que serão instalados em toda a planta fotovoltaica. Os drivers serão disponibilizados pelo próprio fabricante do sistema supervisório e estão associados aos TAGs configurados de acordo com o manual do fabricante e parâmetros como, protocolo e modo de comunicação, endereço do controlador, timeout e porta de comunicação. Para a comunicação com o inversor solar e o Arduino será utilizado o *driver* MODBUS, presente na pasta raiz do projeto e que tornará possível a troca de dados.

É importante ressaltar que os arquivos de drivers devem estar presentes no diretório do projeto para que o mesmo possa ser executado mesmo em diferentes computadores.

3.6.9 Cadastramento de usuários

O cadastramento de usuários será realizado de acordo com o nível hierárquico que será definido após a implantação da usina solar fotovoltaica e se fará necessário por ser fundamental para a segurança da usina solar fotovoltaica, além da organização e centralização das informações do sistema.

O sistema supervisório conta com uma documentação que descreve todo o processo que será supervisionado, auxiliando sua operação e manutenção através de tabelas de variáveis, alarmes e tutoriais de configuração. O documento também fornecerá informações para uma tomada rápida de decisões em momentos de alarmes críticos e para facilitar o desenvolvimento de futuras expansões do sistema.

3.7 – Investimento Inicial e Análise de Retorno

Para a implantação da usina solar fotovoltaica, e Equipe Engenharia realizou um estudo de viabilidade financeira para apresentar à contratante. Para a realização desses estudos, foram levantados todos os pontos importantes, conforme já apresentados anteriormente, gerando assim, um relatório ao departamento financeiro da empresa que irá adquirir a usina fotovoltaica.

PLANILHA DE CUSTO - SFCR 355,71 kWp									
Cliente:		USINA SOLAR FOTOVOLTAICA			Proposta:	2021		Data:	17/11/2021
SISTEMA FOTOVOLTAICO									
Item	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total	%	Total %	
9		Solar Edge - Kit Trifásico 220 V (Fase Fase) com Inversor SE75k	VB	3	189.000,00	567.000,00	66%		
9		Solar Edge - Kit Trifásico 220 V (Fase Fase) com Inversor SE27,6k	VB	2	149.000,00	298.000,00	34%		
9		Modulo de Comunicação Wi-fi - SE1000 WIFI01	VB	5	299,00	1.495,00	0,2%		
VALOR TOTAL Materiais						865.000,00		50,1%	
MATERIAIS									
Item	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total	%	Total %	
1		INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	VB	1	19.685,09	19.685,09	16%		
2		ILUMINAÇÃO EXTERNA	VB	1	26.844,66	26.844,66	22%		
3		CFTV	VB	1	3.517,67	3.517,67	3%		
4		RAMAL DE ENTRADA	VB	1	6.450,41	6.450,41	5%		
5		ENVELOPES ELÉTRICOS	VB	1	8.479,20	8.479,20	7%		
6		LANÇAMENTO DE CABOS	VB	1	50.912,95	50.912,95	41%		
7		CAIXAS DE PASSAGEM	VB	1	0,00	0,00	0%		
8		CABINE DE EQUIPAMENTOS	VB	1	0,00	0,00	0%		
9		CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DA MINIUSINA FV	VB	1	8.616,00	8.616,00	7%		
VALOR TOTAL Materiais						124.505,98		7,2%	
SISTEMA SUPERVISÓRIO									
Item	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total	%	Total %	
10		Sensores	VB	1	1.687,63	1.687,63	1%		
VALOR TOTAL Materiais						1.687,63		0,1%	
SERVIÇOS									
Item	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total	%	Total %	
1		INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	VB	1	99.105,14	99.105,14	13%		
2		ILUMINAÇÃO EXTERNA	VB	1	3.162,55	3.162,55	0%		
3		CFTV	VB	1	12.181,55	12.181,55	2%		
4		RAMAL DE ENTRADA	VB	1	7.462,55	7.462,55	1%		
5		ENVELOPES ELÉTRICOS	VB	1	68.062,98	68.062,98	9%		
6		LANÇAMENTO DE CABOS	VB	1	13.039,57	13.039,57	2%		
7		CAIXAS DE PASSAGEM	VB	1	31.395,15	31.395,15	4%		
8		CABINE DE EQUIPAMENTOS	VB	1	50.007,62	50.007,62	7%		
9		CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DA MINIUSINA FV	VB	1	449.542,00	449.542,00	61%		
10		INSTALAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA SUPERVISÓRIO	VB	1	1.000,00	1.000,00	0,1%		
VALOR TOTAL Serviços						734.959,11		42,6%	
SERVIÇOS									
Item	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit.	Valor Total	%	Total %	
10		INSTALAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA SUPERVISÓRIO	VB	1	1.000,00	1.000,00	0,1%		
VALOR TOTAL Serviços						1.000,00		0,1%	
TOTAL Materiais + Serviços						1.727.152,72			
TOTAL Final - Custo Financeiro						1.762.400,73		2,0%	
						R\$ 4,95 /Wp	Instalação.+ Materiais		

Imagem 26 – Análise de custo da usina
Fonte: Próprios Autores, 2021.

De acordo com os valores apresentados, foi realizado um estudo e apresentado para a empresa onde será implantada a usina solar fotovoltaica, de tempo de retorno do investimento (*Payback*), além dos dos valores economizados com o consumo de energia.

RELATÓRIO FINANCEIRO

Ciente:	
Local:	
Porte do Sistema FV:	355,710 kWp
Valor total (A vista):	R\$ 1.762.400,73
Custo (R\$/Wp):	R\$ 4,95/Wp
Tarifa de energia:	R\$ 0,6500 (EDP)
Valor atual do(s) inversor(es):	R\$ 865.000,00
Geração de energia no 1º ano:	529.160 kWh

Payback: 4,5 anos*

VPL : R\$ 5.643.506,55

TIR : 34,4%

Inflação Energética anual:	9,5% (Histórico entre 1995 - 2014)
Depreciação do módulo FV (Ano 1)	2,5%
Depreciação do módulo FV (Ano 2 em diante)	0,7%
Custo de Manutenção anual:	0,5%
Taxa Mínima de Atratividade (TMA):	10,0% a.a.
Substituição do inversor (ano):	25º ano
Inflação anual:	4,5% a.a.

FLUXO DE CAIXA ANUAL

Ano	Tarifa de energia (Impostos inclusos) (A)	Geração prevista (kWh) (B)	Economia de Energia (C = A x B)	Custo Total Manutenção Anual (D)	Resultado Anual (E = C - D)	Resultado Acumulado
0	R\$ 0,65	529.160	R\$ 343.954,00	1.762.400,73	- 1.418.446,73	- 1.418.446,73
1	R\$ 0,71	525.456	R\$ 373.993,22	9.208,54	364.784,68	- 1.053.662,05
2	R\$ 0,78	521.778	R\$ 406.655,92	9.622,93	397.032,99	- 656.629,06
3	R\$ 0,85	518.125	R\$ 442.171,22	10.055,96	432.115,26	- 224.513,81
4	R\$ 0,93	514.498	R\$ 480.788,24	10.508,48	470.279,76	245.765,95
5	R\$ 1,02	510.897	R\$ 522.777,88	10.981,36	511.796,52	757.562,47
6	R\$ 1,12	507.321	R\$ 568.434,69	11.475,52	556.959,16	1.314.521,64
7	R\$ 1,23	503.769	R\$ 618.078,93	11.991,92	606.087,01	1.920.608,65
8	R\$ 1,34	500.243	R\$ 672.058,85	12.531,56	659.527,30	2.580.135,94
9	R\$ 1,47	496.741	R\$ 730.753,11	13.095,48	717.657,64	3.297.793,58
10	R\$ 1,61	493.264	R\$ 794.573,43	13.684,77	780.888,66	4.078.682,24
11	R\$ 1,76	489.811	R\$ 863.967,51	14.300,59	849.666,92	4.928.349,16
12	R\$ 1,93	486.383	R\$ 939.422,11	14.944,11	924.477,99	5.852.827,16
13	R\$ 2,11	482.978	R\$ 1.021.466,54	15.616,60	1.005.849,94	6.858.677,09
14	R\$ 2,32	479.597	R\$ 1.110.676,32	16.319,35	1.094.356,97	7.953.034,07
15	R\$ 2,54	476.240	R\$ 1.207.677,23	17.053,72	1.190.623,52	9.143.657,59
16	R\$ 2,78	472.906	R\$ 1.313.149,73	17.821,13	1.295.328,59	10.438.986,18
17	R\$ 3,04	469.596	R\$ 1.427.833,66	18.623,08	1.409.210,57	11.848.196,75
18	R\$ 3,33	466.309	R\$ 1.552.533,51	19.461,12	1.533.072,39	13.381.269,14
19	R\$ 3,65	463.044	R\$ 1.688.124,02	20.336,87	1.667.787,15	15.049.056,29
20	R\$ 3,99	459.803	R\$ 1.835.556,33	21.252,03	1.814.304,30	16.863.360,59
21	R\$ 4,37	456.585	R\$ 1.995.864,65	22.208,37	1.973.656,27	18.837.016,86
22	R\$ 4,79	453.388	R\$ 2.170.173,49	23.207,75	2.146.965,73	20.983.982,59
23	R\$ 5,24	450.215	R\$ 2.359.705,59	24.252,10	2.335.453,49	23.319.436,08
24	R\$ 5,74	447.063	R\$ 2.565.790,47	25.343,44	2.540.447,03	25.859.883,11
25	R\$ 6,28	443.934	R\$ 2.789.873,79	26.266,18	2.626.184,70	26.023.572,19

Imagem 27 – Payback da custo da usina

Fonte: Próprios Autores, 2021.

4 – Conclusão

Como se pode acompanhar no documento, foram apresentadas as etapas de um projeto da implantação de um sistema supervisório juntamente com o projeto de uma usina de geração solar fotovoltaica de 355,71 kWp, que será implantada no interior do estado do Espírito Santo, para a captação de dados através de um sistema supervisório.

A principal contribuição do sistema supervisório proposto é a possibilidade de realizar o monitoramento em toda usina fotovoltaica a um custo consideravelmente baixo em comparação aos valores iniciais de investimento e que além do baixo custo, o sistema supervisório desenvolvido para a usina solar fotovoltaica utilizará a própria rede do local onde será construído a usina solar fotovoltaica.

O sistema supervisório apresentado neste trabalho de pesquisa deverá ser uma ferramenta com interface amigável e de fácil utilização, com opções de monitoramento por meio de telas de supervisão, além de possibilitar a visualização de dados históricos e geração de relatórios. As funcionalidades do sistema supervisório Scada serão implementadas, possibilitando assim uma avaliação do funcionamento geral do sistema. A obtenção das variáveis climática deverá ser satisfatória, possibilitando assim, que a equipe de manutenção possa analisar a influência da irradiância solar e da temperatura na produção de energia e detectar quando a usina apresenta uma operação inadequada. Além disso, a integração das funcionalidades do sistema Scada com a usina fotovoltaica permitirá a identificação de falhas na comunicação e falhas no funcionamento da usina, monitorando assim, os eventos através de alarmes, gerados através da leitura dos sensores e dos dados do histórico.

Referência

CAVALCANTE, Adriano da Silva et al. *Sistema Supervisório com Controle de Níveis dos Tanques Manaus* - AM, 2016. Trabalho de Disciplina (Automação Industrial) - Universidade Paulista - Unip, MANAUS - AM, 2016.

CEPEL-CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2014.

COELHO, Marcelo Saraiva. *Apostila de Sistemas Supervisórios. Curso superior de tecnologia em automação e controle de processos industriais contínuos*. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia de São Paulo campus Cubatão, 2010.

FIELDING, Roy et al. Hypertext Transfer Protocol – HTTP 1.1. Network Working Group. The Internet Society, 1999.

FRANCO, Ana Carolina Arouca Bueno. *Plataforma de supervisão para a integração de fontes renováveis de energia*. 2019. 71f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO.

GTES - Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Editora Ediouro, 2014.

KRUTZ, Ronald Louis. *Securing SCADA Systems*. Wiley Publishing, Inc. Indiana, 2006.

MARINI, José Adriano; ROSSI, Luiz Antônio. Projeto de sistemas fotovoltaicos para oferta de energia elétrica a comunidades rurais. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

MELO, Anderson Rodrigues de. *Desenvolvimento de um sistema supervisório aplicado em uma usina de geração de energia solar fotovoltaica*. 2020.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. LM35 *Precision centigrade temperature sensors*. Texas Instruments, 2000.

Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso em: 13 de novembro de 2021.

OLIVEIRA, Janine Cavalcante de; BELCHIOR, Fernando Nunes. Energia elétrica produzida por um sistema fotovoltaico versus dados meteorológicos – uma aplicação da correlação de Pearson. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, 2021.

PENIN, Aquilino Rodrigues. *Sistemas SCADA*. 2ª ed. Barcelona: Marcombo, Ediciones Técnicas, 2007.

PEREIRA, Enio Bueno, *et al.* Atlas Brasileiro de Energia Solar: INPE. São José dos Campos, 2006.

PINHEIRO, José Mauricio Santos. *Introdução às Redes de Supervisão e Controle*. 2006. Disponível em:

https://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_redes_de_supervisao_e_controle.php. Acesso em: 19 de setembro de 2021.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PONTES, Wyara Maria Carlos Souza. Implantação de Estação Solarimétrica e de Sistema Supervisório com Scadabr e Plataforma IoT em usina fotovoltaica na UNILAB-CE. 2021.

Portal Solar. *Top 7 Países que mais Usam Energia Solar*.

Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/top-7-paises-que-maisusam-energia-solar.html>. Acesso em: 07 de novembro de 2021.

PRAXEDES, Antonio Bernardo de Vasconcellos. *Desenvolvimento de um sistema de supervisão, controle e manutenção baseado em condições para usinas de geração*

solar fotovoltaicas usando o conceito IoT. 2020. 229 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Acesso em 12 de setembro de 2021.

RÜTHER, Ricardo. *Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil*. Florianópolis: 1ª ed. UFSC/LABSOLAR, 2004.

SEGUEL, Júlio Igor López. *Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia Usando a Técnica MPPT e Controle Digital*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de PósGraduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, Ana Paula Gonçalves da; SALVADOR, Marcelo. *O que são sistemas supervisórios?* São Paulo, 2005.

SPEKTRON IRRADIATION SENSORS. *Silicon sensors for measuring the solar irradiation*. Disponível em: <https://www.tritec-energy.com/en/sensors/spektron-irradiation-sensors/>. Acesso em 14 de novembro de 2021.

TESKE, Sven; MASSON, Géraldine. *Solar generation 6. Solar photovoltaic electricity empowering the world*. 2011.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. *Sensores industriais: fundamentos e aplicações*. 8ª ed. São Paulo: Érica, 2011.

VERA, Luis Horacio. *Programa Computacional Para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS - 2004.

VIANNA, William da Silva, *et al.* *Sistema SCADA Supervisório*. Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Tecnologia. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2008. Acesso em 19 de setembro de 2021.