

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Mariana Fornara Nohatto

**PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES ELETROMECAÑICAS DE USINAS  
FOTOVOLTAICAS**

Florianópolis

2022

Mariana Fornara Nohatto

**PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES ELETROMECÂNICAS DE USINAS  
FOTOVOLTAICAS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Profa. Dr. Cristine do Nascimento Mutti

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nohatto, Mariana Fornara

PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES ELETROMECÂNICAS DE USINAS  
FOTOVOLTAICAS: COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS DE GANTT E  
LINHA DE BALANÇO / Mariana Fornara Nohatto ; orientadora,  
Cristine do Nascimento Mutti, 2022.

84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Linha de Balanço. 3. Diagrama de  
Gantt. 4. Usinas Fotovoltaicas. I. Mutti, Cristine do  
Nascimento. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Mariana Fornara Nohatto

**PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES ELETROMECÂNICAS DE USINAS  
FOTOVOLTAICAS**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil

Florianópolis, 10 de março de 2022.

Prof.a Liane Ramos da Silva  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.a Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.a Fernanda Fernandes Marchiori, Dr<sup>a</sup>  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Bianca Tais Trentin, MsC  
Avaliadora  
*Climb Consulting Group*

Este trabalho é dedicado à minha avó, por ser o meu exemplo de força e coragem.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por me proporcionarem uma educação de excelência. À minha professora orientadora, Cristine do Nascimento Mutti, por não medir esforços durante o desenvolvimento deste trabalho e a banca examinadora, Fernanda e Bianca pela disponibilidade e conhecimento compartilhado.

Aos meus pais, Elaine e Roberto, por estarem ao meu lado em cada um dos meus passos, por me ensinarem a dar o meu melhor em todas as situações e a não desistir dos meus sonhos. Agradeço pelo amor, carinho e educação que me deram, sem vocês eu não estaria aqui hoje. Obrigada por me auxiliarem a moldar meu caráter com valores voltados para a verdade, para a família, para a justiça e para o trabalho.

À minha irmã Flávia e ao meu cunhado Renan, por serem incansáveis no apoio durante toda essa trajetória. Aos meus avós, Margot e Domingos, por serem meus grandes exemplos de vida, por todo o amor e torcida.

Aos amigos João Paulo, Luiz Filipe e Marcela, por estarem comigo nos dias de engenharia e tornarem essa jornada mais fácil, leve e divertida. É uma grande honra dividir a vida com vocês. Ao João Francisco, por ser o maior incentivador dos meus sonhos, por sempre acreditar na minha capacidade de realização.

As amigas de sempre, Amanda, Ana, Carolina, Catharina (*in memoriam*), Daniela S., Daniela M., Helena, Joana e Vitória, por acompanharem meus passos, pela torcida e apoio. Vocês são a minha certeza de compreensão e amizade.

As Engenheiras, Alana, Caroline, Marina, Maria Luiza e Romênia, por serem exemplos como mulheres e profissionais, trilharem carreiras de excelência e abrirem portas para mim e tantas outras engenheiras que ainda virão.

Ao EPEC, PET, EREEC SUL, Conaz, Elastri Engenharia e Nova Engevix pelas oportunidades de estágio, desenvolvimento e aprendizado, bem como por todos os amigos feitos neste caminho.

“O destino não é uma questão de sorte, é uma questão de escolha, não é algo a se esperar, é algo a se conquistar.”  
(William Jennings Bryan)

## RESUMO

Ao longo dos últimos dez anos, aumentou significativamente no Brasil a presença de fontes renováveis em sua matriz energética. Tal fator foi importante para a construção civil, que passou a atuar no desenvolvimento de parques eólicos e solares. Esse trabalho tem por objetivo explorar o planejamento de obras, analisando comparativamente dois modelos de cronograma aplicados a uma usina solar fotovoltaica: o modelo de diagrama de Gantt e o de linha de Balanceamento. O trabalho é um estudo de caso, pois os dois modelos foram aplicados no mesmo empreendimento ao longo do seu período de execução, sendo inicialmente utilizado o diagrama de Gantt e posteriormente aplicado o planejamento em linha de Balanceamento. Com a coleta de dados relativos ao avanço físico do projeto e a alocação da mão de obra e de equipamentos em cada uma das atividades da estrutura analítica do projeto, foi analisada a aderência ao planejamento nos dois momentos da obra. Verificou-se que a aplicação da linha de Balanceamento permitiu a identificação de interferências entre as atividades, permitindo ao planejamento realizar um melhor sequenciamento entre as atividades e como consequência otimizar o uso dos recursos.

**Palavras-chave:** Linha de Balanceamento. Diagrama de Gantt. Usinas Fotovoltaicas

## ABSTRACT

Over the course of the last ten years, the presence of renewable sources in Brazil's energy matrix has increased significantly. This factor was important for the construction industry, which became involved in the development of wind and solar farms. This work seeks to explore construction planning by comparatively analyzing two schedule models applied to a photovoltaic plant: the Gantt chart model and the line of balance model. The work is a case study, because both models were applied in the same enterprise along its execution period, the Gantt diagram being used initially and the line of balance planning applied later. With the data collection related to the project's physical progress and the allocation of manpower and equipment in all activities of the project's analytical structure, the adherence to planning was analyzed in both moments of the project. It was verified that the application of the line of balance allowed the identification of interferences among the activities, allowing the planning to perform a better sequencing among the activities and consequently optimize the use of resources.

**Keywords:** Line of Balance. Gantt Chart. Photovoltaic Plants.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade energética instalada e empreendimentos em construção e outorgados.....	17
Figura 2 - Caminho da energia em uma UFV .....	21
Figura 3 - Diagrama de Gantt-PERT/CPM .....	33
Figura 4 - Diagrama de Barras x Linha de Balanceamento .....	34
Figura 5 - Espera e Buffer na Linha de Balanceamento .....	35
Figura 6 - Histograma de recursos em planejamentos paralelos e não paralelos.....	36
Figura 7 – Método.....	39
Figura 8 - Organograma executivo .....	41
Figura 9 - EAP do projeto .....	43
Figura 10 - Representação dos subcampos .....	44
Figura 11 - Precedências dos pacotes de trabalho .....	46
Figura 12 - Prazo e Quantitativo .....	46
Figura 13 - Recorte da linha de Balanceamento .....	48
Figura 14 - Projeção do uso de recursos.....	49
Figura 15 - Avanço Físico de novembro/21 até 22 de março/21 .....	52
Figura 16 – Avanço físico mensal até 22/03/21 .....	53
Figura 17 - Comparativo de percentual de avanço físico previsto e realizado por atividade até 22/03/2021 .....	54
Figura 18 – Produção diária - Vala de MT até 22/03/21 .....	55
Figura 19 – Avanço Físico até 20/09/21 .....	56
Figura 20 - Diferença entre avanço físico previsto e realizado entre 23/03/21 e 20/09/21 .....	57
Figura 21 - Avanço físico mensal entre 23/03/21 e 20/09/21.....	57
Figura 22 - Comparativo de percentual de avanço físico previsto e realizado por atividade entre 22/03/21 e 20/09/21 .....	58
Figura 23 - Produção diária - Vala de MT até 20/09/21 .....	59
Figura 24 - Avanço físico comparativo com o número de colaboradores .....	60
Figura 25 - Homem hora necessário para avanço de 1 MWp .....	61
Figura 26 – Média histórica de valores do MWh.....	62
Figura 27 - Análise financeira de não geração .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Roteiro para o planejamento de uma obra .....	28
Tabela 2 - Exemplo de EAP .....	29
Tabela 3 - Exemplo de Tabela de Sequenciação .....	30
Tabela 4 - Diagrama de Gantt para UFV .....	33
Tabela 5 – Quantitativos do empreendimento em análise .....	42
Tabela 6 - Pacotes de trabalho.....	45
Tabela 7 - Duração dos pacotes de trabalho.....	47
Tabela 8 – Diferença entre previsto e realizado até 23/03/2022 .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACR – Ambiente de Contratação Regulado  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
BT – Baixa Tensão  
CA – Corrente Alternada  
CC – Corrente Contínua  
CCEE – Câmara de Comércio de Energia Elétrica  
CGH – Central Geradora Hidrelétrica  
EOL – Central Geradora Eólica  
EPC - *Engineering, Procurement and Construction* – Contrato de engenharia, gestão de compras e construção  
EAP – Estrutura Analítica de Projeto  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
FV – Fotovoltaico  
GC – Geração Centralizada  
GD – Geração Distribuída  
IRENA – Agência Internacional de Energia Renovável  
LOB – Linha de Balanceamento  
MT – Média Tensão  
PCH – Pequena Central Hidrelétrica  
UFV – Usina Fotovoltaica  
UHE – Usina Hidrelétrica  
UTE – Usina Termoelétrica  
UTN – Usina Termonuclear

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	17
1.2	OBJETIVOS .....	19
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
1.3	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	USINAS FOTOVOLTAICAS .....	21
<b>2.1.1</b>	<b>Componentes Eletromecânicos .....</b>	<b>22</b>
2.1.1.1	<i>Módulos FV .....</i>	22
2.1.1.2	<i>Estrutura De Suporte aos Módulos - Tracker .....</i>	22
2.1.1.3	<i>Fundação do Tracker .....</i>	23
2.1.1.4	<i>Cabos Solares.....</i>	23
2.1.1.5	<i>String Box.....</i>	23
2.1.1.6	<i>Rede de BT .....</i>	23
2.1.1.7	<i>Inversor e Transformador.....</i>	24
2.1.1.8	<i>Rede de MT.....</i>	24
2.1.1.9	<i>Subestação Coletora e Rede de Transmissão .....</i>	24
2.2	PLANEJAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	24
<b>2.2.1</b>	<b>Planejamento De Longo Prazo.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Planejamento De Médio Prazo.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Planejamento De Curto Prazo .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Elaboração do Planejamento de Longo Prazo.....</b>	<b>27</b>
2.2.4.1	<i>Identificação das Atividades.....</i>	28

2.2.4.2	<i>Definição das Durações</i> .....	29
2.2.4.3	<i>Definição da Precedência</i> .....	30
2.2.4.4	<i>Montagem do Diagrama de Rede</i> .....	31
2.2.4.5	<i>Identificação do Caminho Crítico e Folgas</i> .....	31
2.2.4.6	<i>Geração do Cronograma e Cálculo Das Folgas</i> .....	32
<b>2.2.5</b>	<b>Modelos de Cronograma</b> .....	<b>32</b>
2.2.5.1	<i>Diagrama de Gantt e Gantt-PERT/CPM</i> .....	32
2.2.5.2	<i>Linha de Balanceamento</i> .....	34
2.2.5.3	<i>Etapas para a Construção da Linha de Balanceamento</i> .....	37
<b>3</b>	<b>MÉTODO</b> .....	<b>39</b>
3.1	COLETA DE DADOS .....	40
3.2	DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	40
3.3	DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	41
3.4	PROPOSTA DE LINHA DE BALANCEAMENTO .....	43
<b>3.4.1</b>	<b>Unidade de Repetição</b> .....	<b>44</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Pacotes de Trabalho</b> .....	<b>44</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Rede Lógica</b> .....	<b>45</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Duração das Atividades e Quantitativos</b> .....	<b>46</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Linha de Balanceamento</b> .....	<b>48</b>
<b>3.4.6</b>	<b>Atribuição de Recursos</b> .....	<b>48</b>
3.5	ANÁLISE DE DADOS.....	50
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>51</b>
4.1	ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO COM O CRONOGRAMA DE GANTT 51	
4.2	ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO COM O CRONOGRAMA EM LINHA DE BALANCEAMENTO .....	55
4.3	USO DOS RECURSOS.....	59
4.4	ANÁLISE FINANCEIRA.....	61

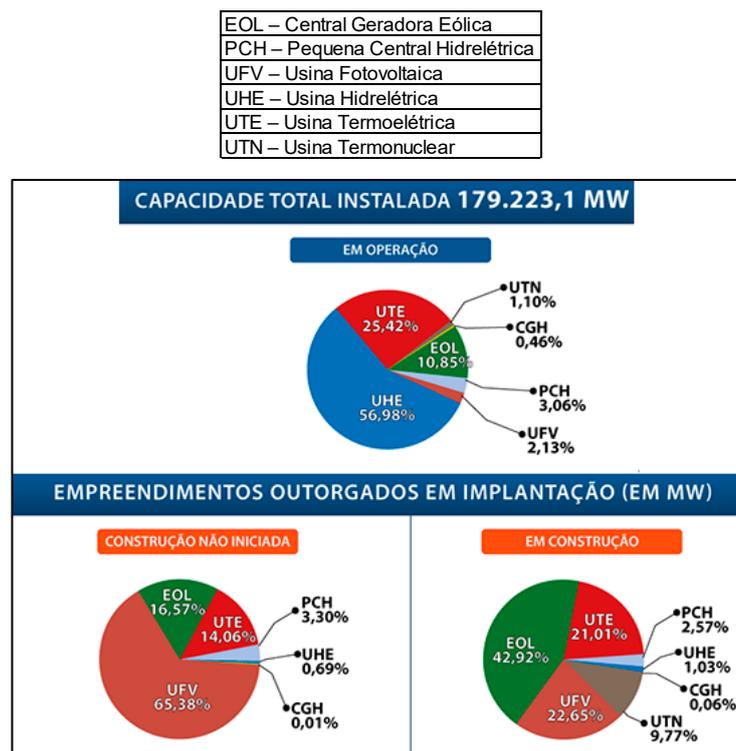
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	63
5.2	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	64
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Em 2021, o Brasil passou a ocupar a 14<sup>a</sup> posição no *ranking* de países com capacidade de geração solar instalada, ultrapassando a marca de 13 GW de potência operacional. O *ranking* é liderado pela China, com 254 GW, seguida pelos Estados Unidos com 74 GW de potência instalada (IRENA, 2021). Ao analisar a matriz energética brasileira, apenas 2,13% da capacidade instalada no país é proveniente da fonte solar, sendo a mesma liderada pelas usinas hidroelétricas (ANEEL, 2021). A figura 1 mostra a capacidade total instalada no Brasil por fonte e os empreendimentos outorgados e em construção.

Figura 1 – Capacidade energética instalada e empreendimentos em construção e outorgados



Fonte: ANEEL (2021)

Mesmo distante da primeira posição nas fontes já instaladas, a solar é destaque nos empreendimentos outorgados, ocupando 65,38% da capacidade de empreendimentos ainda não iniciados e 22,65% da capacidade dos empreendimentos

em construção (ANEEL, 2021). Tais dados corroboram com o crescimento previsto para o setor no *Plano Decenal de Expansão de Energia* (2021 – 2030), divulgado pelo Ministério de Minas e Energia, o qual indica uma capacidade instalada proveniente de fonte solar entre 24,7 GW e 43,3 GW para 2030 (EPE, 2021). A Associação Brasileira de Energia Solar prevê que o setor irá receber R\$ 139 bilhões em investimentos e gerar mais de 1 milhão de novos empregos até 2050 (ABSOLAR, 2021).

O histórico da construção civil brasileira é marcado por atrasos e consequentes perdas econômicas. Para Mattos (2010): “*As deficiências no planejamento e no controle estão entre as principais causas de baixa produtividade do setor, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade dos seus produtos*”. Nesse sentido, urge a necessidade da adoção de técnicas de planejamento e controle para cumprimento de prazos com a qualidade exigida e para maximizar os resultados dos *stakeholders* dos projetos.

Entre os métodos e ferramentas existentes, o Diagrama de Barras ou Gráfico de Gantt e as redes PERT/CPM são recomendados para empreendimentos sem um elevado número de repetições (LOSSO E ARAÚJO, 1995). O Diagrama de Barras/Gráfico de Gantt é o método mais utilizado para o planejamento na construção civil (MATTOS, 2010).

Já a Linha de Balanceamento é indicada para o planejamento e controle de projetos com serviços repetitivos, estabelecendo ritmos de produção para cada serviço (MENDES JÚNIOR, 1999). O método considera o caráter repetitivo favorecendo a organização do plano de ataque da obra no que diz respeito a utilização de equipamentos e contratação de mão de obra (FRUGONI, VOLTA e GUIMARÃES, 2014).

A partir da observação do grande número de atividades repetitivas na construção de UFV's e do mercado em expansão, o presente trabalho irá abordar a aplicação do método de linha de balanceamento para planejamento e controle deste tipo de empreendimento.

## 1.2 OBJETIVOS

Nas próximas seções serão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos desse trabalho de conclusão de curso.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o planejamento das atividades de construção eletromecânicas de usinas fotovoltaicas através do cronograma de Diagrama de Gantt e Linha de Balanceamento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar as etapas de construção eletromecânicas de UFV's e sua respectiva estrutura analítica de projeto;
- b) Caracterizar o processo de planejamento através do uso do Diagrama de Gantt e da Linha de Balanceamento;
- c) Elaborar o cronograma em Linha de Balanceamento;
- d) Analisar a aderência ao planejamento através da aplicação do cronograma de Linha de Balanceamento e em Diagrama de Gantt;
- e) Analisar comparativamente o modelo de cronograma de Diagrama de Gantt com o modelo desenvolvido em Linha de Balanceamento.

## 1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho consiste em um estudo de caso do processo de planejamento de uma UFV localizada no estado do Piauí. A coleta de dados ocorreu exclusivamente em documentos autorizados pela empresa construtora.

Foram analisadas as atividades eletromecânicas tendo em vista que as atividades que compõe o escopo de obras civis são comumente encontradas em outros tipos de empreendimentos, não sendo exclusivos de UFV's. A produtividade da montagem eletromecânica está relacionada com a marca e modelo dos equipamentos

utilizados, sendo possível obter composições de equipes e durações diferentes em outros empreendimentos, a variar com a solução técnica adotada.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos. No primeiro é realizada a contextualização do cenário de energia solar, justificativa e objetivos do trabalho. No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica esclarecendo as etapas de construção de uma UFV para entendimento das suas especificidades e são abordadas as metodologias de planejamento Diagrama de Gantt e Linha de Balanceamento.

No terceiro capítulo, define-se o objeto de estudo do trabalho e são apresentadas premissas adotadas para elaboração do cronograma em Linha de Balanceamento. No quarto capítulo os dois métodos de elaboração de cronograma são analisados comparativamente, sendo apresentadas análises da aderência da obra ao planejamento.

No quinto e último capítulo, apresentam-se as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do trabalho e sugestões para trabalhos futuros. Em seguida, pode-se encontrar as referências bibliográficas utilizadas para embasamento teórico do trabalho, anexos e apêndices.

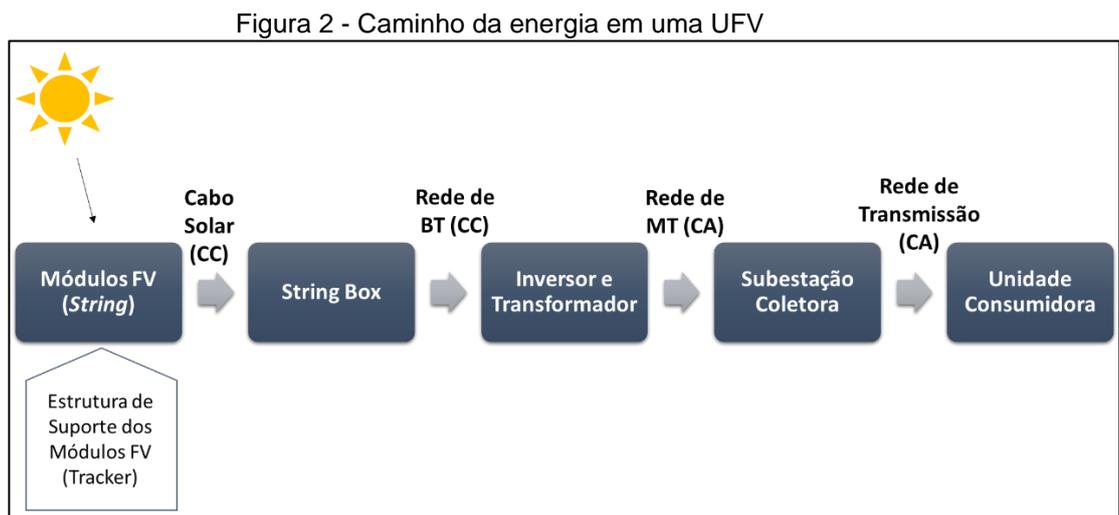
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dividido em duas etapas. A primeira dedica-se a esclarecer quais são os componentes eletromecânicos e a sequência executiva de uma UFV. A segunda etapa consiste no aprofundamento nos conceitos e fundamentos dos métodos de planejamento em estudo.

### 2.1 USINAS FOTOVOLTAICAS

Existem dois tipos de geração de energia FV: a geração centralizada (GC) e a geração distribuída (GD). A GD é caracterizada por empreendimentos de pequeno porte – 75 kW até 5MW – permitindo que pessoas físicas e jurídicas possam gerar energia e aderir o sistema de compensação, sob o regulamento das Resoluções Normativas 482/2021 e 687/2015 da ANEEL. A GC é realizada através de usinas de grande porte, as quais são outorgadas para construção pela ANEEL mediante os leilões do Ambiente de Contratação Regulado - ACR (CANAL SOLAR, 2021).

O fluxograma abaixo (figura 2) é um esquema do caminho da energia em uma UFV de grande porte. Os componentes indicados são detalhados na próxima seção.



Fonte: Autora

## 2.1.1 Componentes Eletromecânicos

Nesta seção, os componentes eletromecânicos necessários para geração de energia através dos módulos fotovoltaicos são descritos. Não são abordados os serviços que englobam o escopo de construção de UFV'S e são entendidos como obras civis, como os acessos e o sistema de drenagem, pois esses serviços são comuns em outros tipos de empreendimentos.

### 2.1.1.1 Módulos FV

Os módulos solares ou fotovoltaicos são responsáveis pela transformação da radiação solar em eletricidade. Compostos por células fotovoltaicas de silício conectadas e protegidas por material estanque, há diferentes opções de módulos no mercado, sendo as opções com maior eficiência também as mais caras (FAGUNDES, 2019). A eficiência média de um módulo varia de 6% a 22% de acordo com o material e tecnologia empregada em sua fabricação (IFC, 2015).

Ao longo da vida útil do módulo o seu desempenho é reduzido, sendo a taxa de degradação variável de acordo com as condições climáticas, ambientais e a tecnologia empregada no módulo (FREITAS, 2008). Os módulos produzem energia em corrente contínua (CC) e o agrupamento de módulos é denominado *string*.

### 2.1.1.2 Estrutura De Suporte aos Módulos - Tracker

Os módulos precisam ser fixados em uma estrutura que garanta sua orientação para o sol. Essas podem ser estruturas com angulação fixa ou possuir rastreamento solar (*solar trackers*) (IFC, 2015). Os sistemas de rastreamento apresentam uma eficiência de geração de energia até 45% maior do que o sistema fixo, otimizando o uso da área disponível para instalação das usinas fotovoltaicas (SILUK, 2017). Quando se opta pela utilização dos *solar trackers*, é necessária a instalação do sistema de comunicação do mesmo, garantindo o seu movimento de acordo com a posição solar ao longo do dia (PORTAL ENERGIA, 2016)

### 2.1.1.3 Fundação do Tracker

Os elementos de fundação utilizados em usinas FV são estacas metálicas ou de aço com diferentes perfis, variando de acordo com a estrutura de suporte aos módulos utilizada no projeto (VELLOSO; LOPES, 2010). A profundidade de cravação das estacas é determinada pelo tipo e características do solo na região, sendo possível utilizar os métodos de cravação direta, *pré-drilling*, *micropilote*, reforço de solo e outras soluções otimizadas (SOARES, 2021).

### 2.1.1.4 Cabos Solares

Os cabos solares são aqueles que conectam desde os painéis solares até a *string box*. De acordo com Eccel (2018, p. 24) “além de serem resistentes à temperatura, os cabos precisam ser resistentes à ação degradante da radiação ultravioleta (para casos em que estejam à vista, mesmo que sob os painéis fotovoltaicos)”.

### 2.1.1.5 String Box

De acordo com NBR 16690, a *string box* ou caixa de junção é um dispositivo de proteção nas quais as séries fotovoltaicas são conectadas (ABNT, 2019). A corrente gerada pelos módulos é conduzida pelo cabo solar até a *string box*, onde passa pelos dispositivos de proteção (fusível, chave seccionadora) e não sendo identificados alterações na corrente, a mesma é conduzida pela rede de baixa tensão até o inversor.

### 2.1.1.6 Rede de BT

A rede de baixa tensão, segundo a NBR 5410, conecta as *string boxes* ao inversor através de valas. São considerados cabos de baixa tensão aqueles alimentados com até 1 kV de tensão (ABNT, 2008). As valas para os cabos de baixa tensão tem sua dimensão variável de acordo com o número de circuitos que recebe, sendo sua maior dimensão próxima ao inversor.

### *2.1.1.7 Inversor e Transformador*

O inversor é responsável pela conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), sendo a segunda o padrão da rede elétrica. Em usinas de grande porte, são utilizados inversores centrais capazes de receber um grande número de arranjos de módulos conectados (PEREIRA; OLIVEIRA, 2015). Já o transformador aumenta a tensão de saída do inversor para a tensão de rede necessária (FAGUNDES, 2019).

### *2.1.1.8 Rede de MT*

A rede de média tensão conecta o transformador a subestação coletora, e assim como a rede de baixa tensão tem a dimensão de suas valas variável de acordo com o número de circuitos que recebe. São considerados cabos de média tensão aqueles alimentados com tensão entre 1 kV e 36,2 kV (ABNT NBR 14039:2005).

### *2.1.1.9 Subestação Coletora e Rede de Transmissão*

A subestação coletora recebe os diversos circuitos provenientes da UFV e possui os dispositivos de proteção, elevação e medição para conexão com a rede de transmissão e conseqüente consumo da energia (FAGUNDES, 2019).

## **2.2 PLANEJAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O planejamento de uma obra deve começar muito antes de sua execução, sendo uma ferramenta importante na análise da viabilidade construtiva do empreendimento (MATTOS, 2010). Para Goldman (2004) o planejamento é um fator determinante do sucesso do projeto e nele estão centralizadas as informações relevantes e o conhecimento dos processos construtivos de uma obra. De acordo com Mattos (2010) o mercado da construção civil está cada vez mais competitivo e exigente, demandando o controle de prazos e do custo, garantindo o retorno sobre os investimentos e a estabilização do fluxo de caixa das companhias.

A definição de um processo de planejamento e controle da produção influencia diretamente no resultado do setor, tornando as empresas mais competitivas, reduzindo as perdas e aumentando a qualidade das entregas (FORMOSO, 2001). O planejamento é uma ferramenta para priorização de ações, acompanhamento do andamento dos serviços, comunicação entre a equipe e principalmente de controle do uso dos recursos (MATTOS, 2010).

Para Ballard e Howell (1995), o planejamento consiste na definição de objetivos e metas, otimizando os processos produtivos enquanto o controle garante que os objetivos e metas serão alcançados. Os principais benefícios do planejamento são o conhecimento pleno da obra; a detecção de situações desfavoráveis; a agilidade de decisões; a relação como orçamento; a otimização da alocação de recursos; a referência para acompanhamento; a padronização; a referência para metas; a documentação e rastreabilidade; a criação de dados históricos e o profissionalismo (MATTOS, 2010).

Entretanto o termo planejamento tem sido utilizado como sinônimo da criação de planos, orçamentos e programações e não é encarado como um processo gerencial (BALLARD E HOWELL, 1996b). Um dos motivos para a falha no processo de planejamento apontado pelos autores é o foco no controle global do empreendimento e não nas unidades de produção como acontece na indústria.

Segundo Laufer e Tucker (1987) o processo de planejamento pode ser dividido nas dimensões horizontal e vertical. A dimensão vertical está relacionada com os vínculos dessas etapas e os níveis gerenciais compondo o planejamento de longo, médio e curto prazo. Já dimensão horizontal relaciona-se com as etapas pelas quais o processo de planejamento e controle é realizado, ou seja: planejamento do planejamento; coleta de informações; preparação de planos; difusão da informação e avaliação do processo de planejamento.

### **2.2.1 Planejamento De Longo Prazo**

O planejamento de longo prazo encontra-se no nível do planejamento estratégico e também é conhecido com Plano Mestre. Este possui baixo grau de detalhamento e abrange as principais atividades e metas do empreendimento (MENDES JUNIOR, 1999). O baixo grau de detalhamento é resultado das incertezas

do ambiente produtivo, sendo o mesmo utilizado para identificação dos objetivos principais do empreendimento para a alta gerência (MOREIRA; BERNARDES, 2001).

É neste nível que se encontram os métodos e ferramentas para representação do planejamento como a Linha de Balanceamento e o Diagrama de Gantt, onde é realizada a definição da estratégia de ataque à obra e das metas, o sequenciamento e duração de cada uma das atividades (BRANDLI *at al.*, 2005). Utilizando no estabelecimento de contratos, o plano mestre fornece uma base comparativa para avaliação comparativa entre previsto e realizado ao longo do tempo de execução do empreendimento (LAUFER, 1987).

### **2.2.2 Planejamento De Médio Prazo**

Relacionado com o nível tático de planejamento, o médio prazo contempla a compatibilização do longo prazo com o curto prazo através da análise da disponibilidade dos recursos, capacidade de produção das equipes, ajustes no fluxo de trabalho e também da retroalimentação do planejamento com o executado (BERNARDES *at al.*, 2002). Também conhecido como *Lookahead Planning*, é o nível de planejamento com maior número de alterações devido a constante retroalimentação do mesmo.

De acordo com Limmer (1997): “*A execução de um projeto sofre mudanças contínuas ao longo da sua implantação, sendo necessário, para alcançar o objetivo maior mencionado, determinar uma diretriz de atuação que leve a esse objetivo* “. Podemos entender o médio prazo como as mudanças contínuas e o longo prazo como a diretriz de atuação do projeto.

Para Ballard (1997) o plano de médio prazo torna o planejamento de curto prazo assertivo, reduzindo custos de durações. O autor cita que neste nível é possível analisar as atividades de maneira a agrupar trabalhos independentes, identificar a melhor sequência executiva e ajustar os recursos ao fluxo de trabalho.

A realização do planejamento de médio prazo é diferente para cada empresa, a variar com a duração da obra e o nível de controle almejado, pode ser realizado com o horizonte semanal ou até de semestral (BERNARDES *et al.*, 2002). Nesse nível de planejamento é possível identificar restrições e ameaças ao cumprimento do prazo e aderência ao custo do projeto, sendo assim é necessário levar em conta a

complexidade do projeto para determinação do horizonte de médio prazo a ser adotado.

### **2.2.3 Planejamento De Curto Prazo**

Inserido no nível operacional de planejamento, o curto prazo é de responsabilidade da equipe de obra (mestre de obras, encarregados, líderes, engenheiros e coordenadores de produção) para organização das equipes e do fluxo de trabalho a ser adotado para o atingimento da meta de produção estabelecida. Pode ser considerado um planejamento de comprometimento, pois visa o engajamento das equipes de produção no cumprimento do estabelecido no planejamento (BALLARD; HOWELL, 1995).

Para uma boa aderência ao planejamento de curto prazo, deve-se possuir os pacotes de trabalho e sua sequência bem definidos, com especificações da quantidade de material e sua disponibilidade, além da meta estabelecida estar coerente com a capacidade produtiva das equipes (BALLARD; HOWELL, 1995).

O foco do curto prazo é assegurar a continuidade do trabalho para as equipes de produção (CHOO et al, 1999). O ciclo adotado pode ser diário, semanal ou até quinzenal, sendo importante a análise constante da aderência da execução ao planejamento e dos motivos de não aderência ao planejado. Desta maneira, é possível tomar decisões rápidas e assertivas quanto a necessidade de mudanças nas estratégias de produção e assim proteger o planejamento de longo prazo (BALLARD, 1997).

### **2.2.4 Elaboração do Planejamento de Longo Prazo**

De acordo com Mattos (2010) o planejamento de uma obra segue passos bem definidos, de elaboração progressiva e lógica. O autor apresenta um roteiro para o planejamento que pode ser utilizado para os mais diversos tipos de empreendimento, consistindo nas seguintes etapas (tabela 1):

Tabela 1 - Roteiro para o planejamento de uma obra

<b>Roteiro para o planejamento de obra</b>	
<b>1</b>	Identificando das atividades
<b>2</b>	Definição das durações
<b>3</b>	Definição da precedência
<b>4</b>	Montagem do diagrama de rede
<b>5</b>	Identificação do caminho crítico e folgas
<b>6</b>	Geração do cronograma

Fonte: Adaptação de Mattos (2010)

Nas próximas seções, são detalhadas cada uma das etapas do roteiro proposto por Mattos.

#### *2.2.4.1 Identificação das Atividades*

Nesta etapa, são elencadas todas as atividades que farão parte do cronograma da obra. A etapa demanda grande atenção, pois as atividades devem contemplar todos os serviços do escopo do projeto e a não identificação de alguma das atividades pode trazer grandes consequências ao custo e ao prazo. Para cada tipologia de obra, uma relação de atividades diferentes é desenvolvida.

A “listagem” das atividades comumente é realizada através da elaboração da Estrutura Analítica do Projeto (EAP). A EAP consiste na decomposição da obra em subsistemas respeitando uma ordem hierárquica entre as atividades (ASSUMPÇÃO, 1996), conforme ilustrado na tabela 2. É boa prática utilizar uma linguagem padrão de nomenclatura de atividades nas diferentes tipologias de obra, facilitando a coleta de dados e permitindo a criação de um banco de dados reais de controle para a empresa.

Tabela 2 - Exemplo de EAP

<b>Atividade</b>
<b>Casa</b>
<b>1. Infraestrutura</b>
1.1 Escavação
1.2 Sapatas
<b>2. Superestrutura</b>
2.1 Paredes
2.1.1 Alvenaria
2.1.2 Revestimento
2.1.3 Pintura
2.2 Cobertura
2.2.1 Madeiramento
2.2.2 Telhas
2.3 Instalações
2.3.1 Instalação elétrica
2.3.2 Instalação hidráulica

Fonte: Adaptação de Mattos (2010)

Mattos (2010) recomenda parcimônia na determinação das atividades da EAP, pois o exagero de atividades resulta em um cronograma de controle minucioso, mas com custo elevado, entretanto, cronogramas resumidos possuem um controle mais barato, mas pouco prático. Para Moreira e Bernardes (2001) a elaboração da EAP deve considerar as zonas de trabalho a serem utilizadas pelas equipes de produção, de modo que a definição da hierarquia de atividades respeite o local de trabalho do operário.

#### 2.2.4.2 Definição das Durações

Nesta etapa é necessário considerar o atendimento das metas estabelecidas pela alta gerência no plano de longo prazo, afinal, a duração do projeto é um dos aspectos mais importantes de um contrato de construção (MATTOS, 2010). Cada atividade do cronograma deve estar associada a uma duração, ou seja, quantidade de tempo que a atividade leva pra ser executada. Há atividades com duração fixa – como a cura do concreto - e atividades que tem sua duração relacionada com os índices de produtividade, a quantidade de serviço e aos recursos alocados (MATTOS,

2010). A definição da alocação de recursos leva a necessidade de integração do cronograma com o orçamento. Laufer e Tucker (1987) destacam que após o início das atividades, o processo de monitoramento dos prazos é contínuo no sentido de avaliação de metas e do consumo de recursos.

A determinação da duração de uma atividade está sujeita a erros, pois a incerteza do processo produtivo não costuma ser considerada na determinação das durações (LAUFER; TUCKER, 1987). Mattos (2010) exemplificar como incertezas: o grau de complexidade e conhecimento da atividade, condições ambientais, a tecnologia a ser aplicada, a experiência da equipe contratada e o apoio logístico.

#### 2.2.4.3 Definição da Precedência

A precedência nada mais é que a determinação da sequência executiva da obra, respeitando o plano de ataque e lógica construtiva. Mattos (2010) indica que seja elaborado o quadro de sequenciação, onde, para cada atividade é atribuída sua atividade predecessora imediata. A atividade predecessora é aquela que deve ser concluída para permitir o início da atividade em análise. Esse sequenciamento permite que sejam identificadas as dependências entre as atividades, como pode ser visualizado na tabela 3.

Tabela 3 - Exemplo de Tabela de Sequenciação

Quadro de Sequenciação			
Atividade		Duração	Predecessora
FUNDAÇÃO			
A	Escavação	1 dia	
B	Sapatas	3 dias	Escavação
ESTRUTURA			
C	Alvenaria	5 dias	Sapatas
D	Telhado	2 dias	Alvenaria
E	Instalação	9 dias	Sapatas
ACABAMENTO			
F	Esquadrias	1 dia	Alvenaria
G	Revestimento	3 dias	Telhado, Instalações
H	Pintura	2 dias	Esquadrias, Revestimento

Fonte: Adaptação de Mattos (2010)

Quando uma atividade não apresenta uma predecessora, podemos inferir que ela é o final da cadeia da atividade ou o início da mesma, como é o caso da atividade de escavação da fundação na tabela 3 (MATTOS, 2010).

#### *2.2.4.4 Montagem do Diagrama de Rede*

O diagrama de rede é a representação gráfica do quadro de sequenciação, contemplando suas dependências, a duração e a folga das atividades, permitindo o entendimento do projeto como um fluxo de atividades (MATTOS, 2010). Os métodos mais comuns para a elaboração dos diagramas são o das flechas e dos blocos.

As redes deixam claras as dependências entre as atividades, evidenciando as datas de início e fim e a sequência executiva, facilitando a compreensão do impacto individual de cada atividade sobre a totalidade do projeto (TUBINO, 2009). Para Ávila e Jungles (2013), a elaboração do diagrama permite ainda o desenvolvimento do cronograma de compra de materiais, de mobilização e desmobilização de recursos e de contratação de serviços terceirizados, permitindo a simulação dos desembolsos e do fluxo de caixa.

#### *2.2.4.5 Identificação do Caminho Crítico e Folgas*

Após a elaboração do diagrama de rede é possível calcular o prazo total do projeto, ou seja, a sequência de atividades que produz o tempo mais longo. De acordo com o PMBOK (2021), o caminho crítico do projeto é a combinação de atividades do cronograma que determina a duração do projeto. O atraso em uma das atividades que compõe o caminho crítico é traduzido diretamente no atraso do projeto de maneira global. A recuperação do prazo em uma das atividades críticas pode se traduzir em custos altos (AVILA; JUNGLES, 2013). As atividades não críticas do projeto são aquelas que possuem uma janela de prazo flexível, pois seu atraso não se traduz diretamente no atraso do projeto. Essa margem de tempo é chamada de folga (MATTOS, 2010).

O conhecimento do caminho crítico permite ao gestor o entendimento das folgas existentes no cronograma, bem como realizar simulações para otimização dos

prazos das atividades não críticas e acompanhar de maneira próxima o andamento das atividades críticas. (MOREIRA; BERNARDES, 2001).

#### *2.2.4.6 Geração do Cronograma e Cálculo Das Folgas*

O produto final das etapas é o cronograma, uma ferramenta de fácil leitura indicando a posição de cada atividade ao longo do tempo (MATTOS, 2010). O cronograma é o instrumento do planejamento, e a partir dele a equipe de obra deve executar as atividades e o gerente do projeto deve tomar as decisões.

### **2.2.5 Modelos de Cronograma**

#### *2.2.5.1 Diagrama de Gantt e Gantt-PERT/CPM*

O Diagrama de Gantt ou Gráfico de Barras é um dos modelos mais simples de representação do cronograma, entretanto é também um dos mais utilizados devido a sua fácil compreensão. No eixo vertical ficam representadas as atividades e no eixo horizontal é representada a escala de tempo. Cada atividade é representada por uma barra e o seu comprimento corresponde a duração da atividade. As atividades são preferencialmente listadas em sua ordem de execução, e o detalhamento da escala de tempo varia de acordo com o interesse do usuário (MAZIERO, 1990).

De acordo com Mattos (2010) a desvantagem do Diagrama de Gantt está na impossibilidade da visualização do caminho crítico, das folgas e da interdependência das operações. Desta forma, quando uma atividade atrasa, não é possível visualizar o impacto do atraso no projeto de maneira global. Na Tabela 4 está representado um exemplo de Diagrama de Gantt para uma UFV. Visando suprir as limitações do Diagrama de Gantt, foi desenvolvida uma versão integrando as informações da rede PERT/CPM ao cronograma, sendo o mesmo chamado de cronograma integrado de Gantt-PERT/CPM.

Tabela 4 - Diagrama de Gantt para UFV

Atividade \ Data	10/jan	11/jan	12/jan	13/jan	14/jan	15/jan	16/jan	17/jan	18/jan	19/jan	20/jan	21/jan	22/jan	23/jan
Cravação de Estaca	█													
Montagem de Tracker					█									
Montagem de Módulos											█			

Fonte: Autora

A técnica PERT/CPM busca calcular a duração das atividades respeitando o encadeamento das mesmas. O cálculo das durações da rede de PERT é realizada através de probabilidade, enquanto as durações da rede CPM são calculadas com base em experiências anteriores e registros (MAZIERO, 1990). A integração das redes PERT/CPM ao Diagrama de Gantt tornou possível a exposição das relações de dependência das atividades, a sequência executiva e a identificação do caminho crítico através do destaque das atividades com hachuras ou traçados diferentes (CASTRO E BORGES, 2017). Na Figura 3 é possível visualizar o Diagrama de Gantt- PERT/CPM elaborado com auxílio do software *MS Project*, no qual estão destacadas em vermelho as atividades críticas.

Figura 3 - Diagrama de Gantt-PERT/CPM



Fonte: Autora

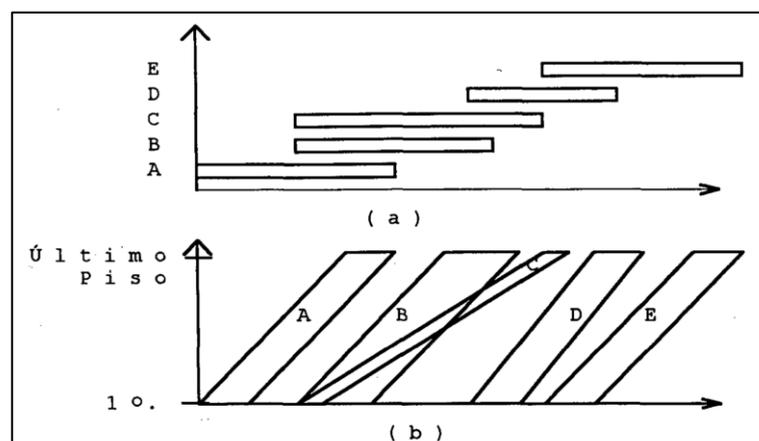
### 2.2.5.2 Linha de Balanceamento

A técnica da Linha de Balanceamento (*Line of Balance – LOB*) foi desenvolvida pela Goodyear Tire & Rubber Company em 1941, sob a orientação de George E. Fouch (MATTOS, 2010). A metodologia vem sendo aplicada com sucesso na Europa e nos Estados Unidos e já se mostrou eficiente para estradas, metrô e edifícios de múltiplos pavimentos. O método começou a ser utilizado no Brasil por volta da década de 70, no planejamento de conjuntos habitacionais (FRUGONI; VOLTA; GUIMARÃES, 2014).

Também conhecida como diagrama de tempo-caminho ou diagrama espaço-tempo, é uma técnica gráfica de cronograma indicada para obras com um grande número de atividades repetitivas (MENDES JUNIOR, 1999). Para Maziero (1990), os projetos repetitivos são constituídos por unidades básicas com características semelhantes que serão repetidas até a conclusão da obra. Em um edifício com múltiplos pavimentos, a unidade básica de repetição pode ser considerada o pavimento, já no caso das estradas a unidade de repetição pode ser o quilometro.

De acordo com Limmer (1997) em uma linha de Balanceamento as unidades de repetição são apresentadas no eixo das ordenadas e o tempo é representado no eixo das abcissas, e as barras formadas representam as atividades. Na figura 4 pode-se verificar a diferença da apresentação do cronograma em Diagrama de Gantt (a) e em Linha de Balanceamento (b).

Figura 4 - Diagrama de Barras x Linha de Balanceamento

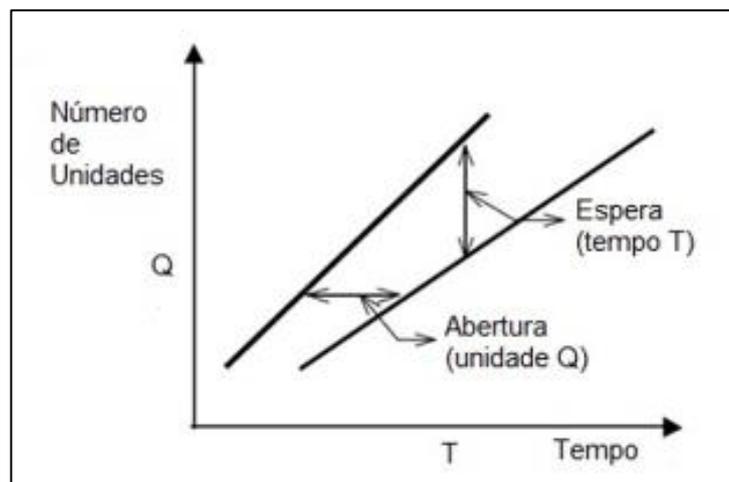


Fonte: Mendes Júnior (1999)

Uma característica importante na linha de Balanceamento é a inclinação das barras que representam as atividades, pois essa inclinação corresponde ao ritmo de execução da atividade. O ritmo de andamento das atividades pode ser fixo ou calculado levando em consideração a quantidade de serviço a ser executado, os índices de produtividade e os recursos alocados no projeto (LIMMER, 1997). Mattos (2010) aponta que quanto mais íngreme for a reta, maior a produtividade da atividade. A técnica está ligada aos conceitos do *Lean Construction* no que diz respeito a visibilidade dos ritmos de produção e fluxos de trabalho (MOREIRA; BERNARDES, 2001).

Analisando duas atividades dependentes, a distância horizontal entre elas representa o tempo de abertura (*time buffer*) entre as atividades na mesma unidade, já a distância vertical entre as curvas representa uma espera, o número de unidades na fila aguardando a conclusão da tarefa, conforme demonstrado na figura 5 (MENDES JUNIOR, 1999).

Figura 5 - Espera e Buffer na Linha de Balanceamento



Fonte: Mendes Júnior (1999)

Quando o ritmo das atividades é diferente, corre-se o risco da interferência entre elas, podendo ser quebrada a linearidade de execução da atividade. Para Mendes Junior (1999) o desbalanceamento dos ritmos de produção ocorre quando a curva de uma atividade intercepta a outra devido a diferença de inclinação das mesmas. Quando as retas das atividades são paralelas, significa que elas possuem o mesmo ritmo de execução.

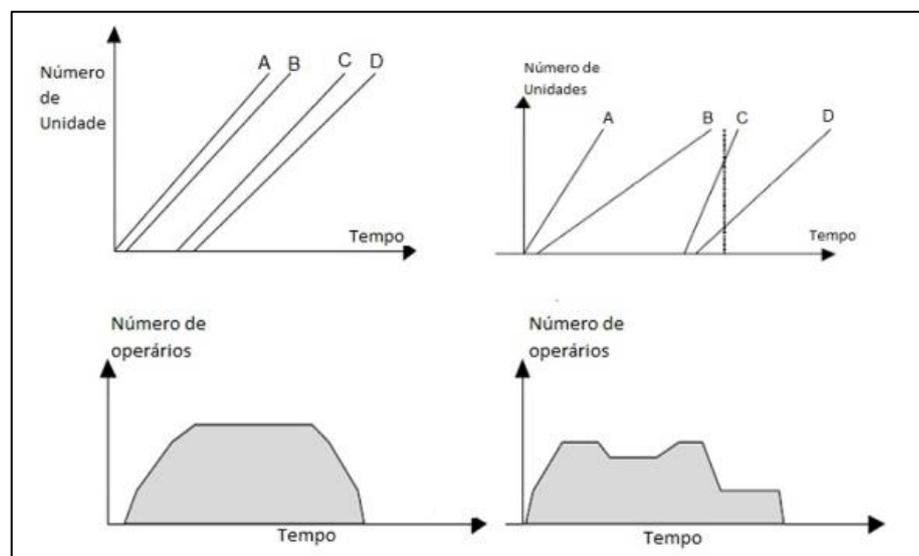
A programação deve evitar a interseção das retas, pois seu cruzamento significa a parada da equipe, quebra na curva de aprendizado, subutilização de equipamentos e pode impactar no prazo final do projeto. Para Frugoni, Volta e Guimarães (2014) quando se tem por objetivo o balanceamento das atividades, pode-se optar por:

- Mudar o ritmo da atividade através da alteração da alocação de recursos;
- Mudar o ritmo da atividade através da alteração na sua data de início, eliminando as folgas.

Mattos (2010) aponta que nem sempre a primeira opção é praticável, pois em alguns casos não é possível alocar equipes muito pequenas ou muito grandes para atender a velocidade desejada.

Uma característica marcante de projetos com a programação de atividades com o mesmo ritmos e execução, ou seja, programação paralela, é a alocação das equipes no formato trapezoidal nos histogramas (ver figura 6), o que é comprovado ser mais eficaz no sentido de aprendizado e ganho de produtividade ao longo do período de execução (MENDES JUNIOR, 1999). Entretanto, as atividades não paralelas apresentam folgas maiores entre si, logo o atraso de uma das tarefas pode ser corrigido com a alteração do ritmo antes de afetar a programação de uma tarefa sucessora, protegendo o planejamento de longo prazo.

Figura 6 - Histograma de recursos em planejamentos paralelos e não paralelos



Fonte: Adaptação de Mendes Júnior (1999)

### 2.2.5.3 Etapas para a Construção da Linha de Balanceamento

A construção de uma linha de Balanceamento possui algumas etapas diferentes das apresentadas na seção 2.2.4 para compor o seu roteiro de elaboração. As mesmas serão detalhadas a seguir, baseadas nas etapas apresentadas por Mendes Junior (1999) e Maziero (1990).

#### a) Determinação da Unidade Básica

A unidade básica de repetição será representada no eixo das ordenadas e a mesma é determinada pelo planejador. Para Maziero (1990) a menor unidade repetitiva pode ser muito minuciosa e dificultar o controle, sendo interessante considerar um grupo delas de acordo com as peculiaridades do projeto em análise.

#### b) Determinação dos Pacotes de Trabalho

Etapa equivalente a “Identificação das Atividades” de Mattos (2010) onde são identificadas todas as atividades envolvidas para a execução de uma unidade básica. Recomenda-se o agrupamento de atividades semelhantes listadas na EAP em pacotes de trabalho para melhor leitura gráfica da linha de Balanceamento, pois o excesso de curvas na mesma pode comprometer o processo de análise. O número de pacotes definidos corresponde ao número de curvas traçadas da linha de Balanceamento. Para melhor compreensão e gestão visual, recomenda-se que a curva de cada pacote de trabalho seja traçada com uma cor diferente.

#### c) Construção da Rede Lógica

Semelhante a etapa de “Definição da Precedência”, com os pacotes de trabalho definidos, é necessário entender a dependência entre os mesmos. O plano de ataque, a sequência executiva e o desenvolvimento lógico da obra devem ser considerados para determinação de predecessores e antecessores (MAZIERO, 1990).

d) Levantamento de Quantitativos e das Composições Unitárias

Nessa etapa são levantadas a quantidade de homens-hora necessárias para a execução dos pacotes de trabalho, conforme o quantitativo do projeto (FRUGONI, VOLTA e GUIMARÃES, 2014).

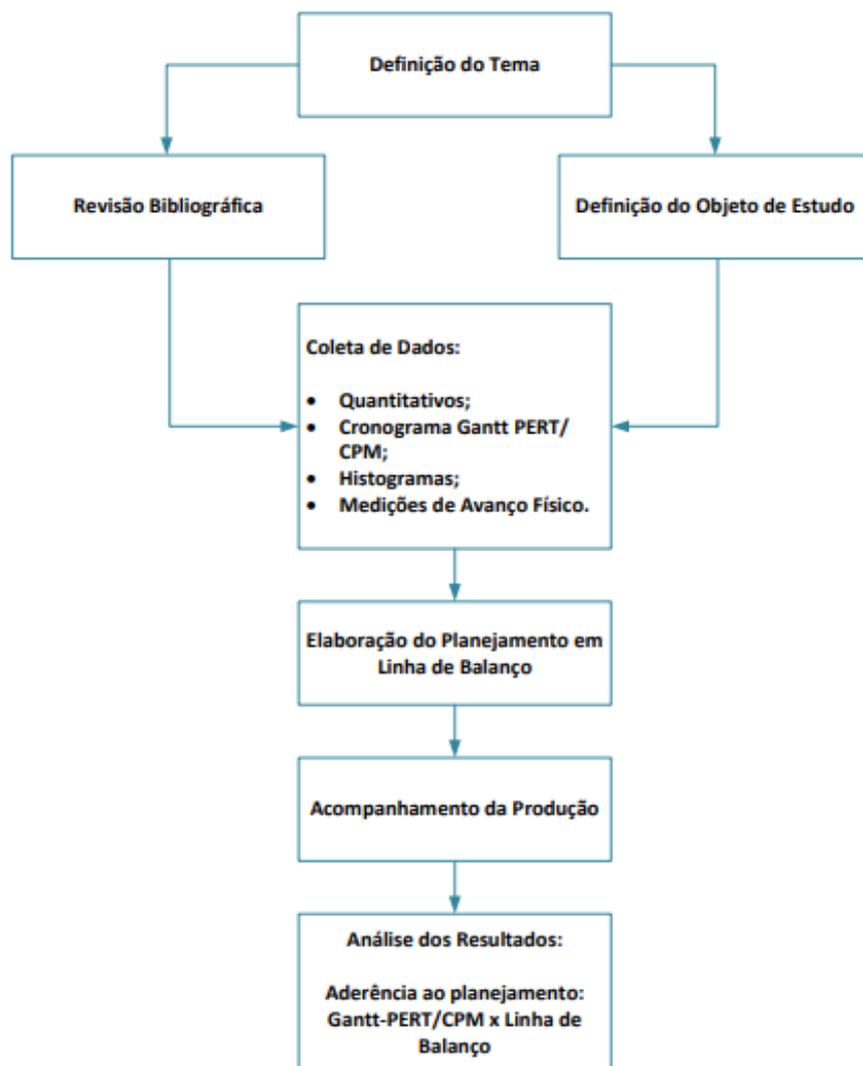
e) Construção da Linha de Balanceamento e Alocação de Recursos

Para o desenho da Linha de Balanceamento, é necessário respeitar a rede lógica, os marcos do projeto, a produtividade, determinar as folgas e balancear os pacotes. Nesta etapa, a duração e as datas de início e fim de cada pacote de trabalho são determinadas, bem como os recursos são distribuídos de acordo com o ritmo definido. Com essas decisões tomadas, plotam-se as curvas de cada pacote de trabalho ao longo tempo, sendo este gráfico o tempo x caminho que representa a movimentação das equipes ao longo do canteiro de obras (CASTRO; BORGES, 2017).

### 3 MÉTODO

Neste capítulo é apresentada a metodologia de desenvolvimento deste trabalho, classificado como um estudo de caso, pois utiliza dados qualitativos coletados a partir de eventos reais, como o objetivo de explicar e explorar fenômenos atuais, sendo um estudo detalhado de apenas um objeto (EISENHARDT, 1989; YIN, 2009). Este estudo de caso é motivado pela percepção da autora quanto a necessidade de mercado da exploração do tema de planejamento de usinas fotovoltaicas. Na figura 7 pode-se observar as etapas adotadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

Figura 7 – Método



Fonte: Autora

### 3.1 COLETA DE DADOS

A definição do objeto estudo de caso ocorreu através da autorização e iniciativa da empresa construtora para desenvolvimento e aplicação do método da linha de Balanceamento em um empreendimento. O empreendimento possuía um horizonte de execução dentro do prazo necessário para realização deste trabalho. Nas seções seguintes, a empresa construtora e a obra são caracterizadas.

A coleta de dados inicial, a qual embasou a elaboração da linha de Balanceamento, ocorreu através da análise documental do orçamento, do contrato, dos histogramas de mão de obra e equipamentos, do cronograma existente e do avanço físico obtido. Após a elaboração do cronograma em linha de Balanceamento, detalhada na seção 3.4, os dados de avanço físico foram coletados através da compilação do relatório diário de campo, onde apontadores indicavam a produção diária e os recursos empregados em cada uma das frentes de serviço. Os dados provenientes do diário de campo foram consolidados pela sala técnica da obra através do documento denominado planilha de avanço físico, disponibilizado pela empresa construtora, e são analisados no capítulo 4.

### 3.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

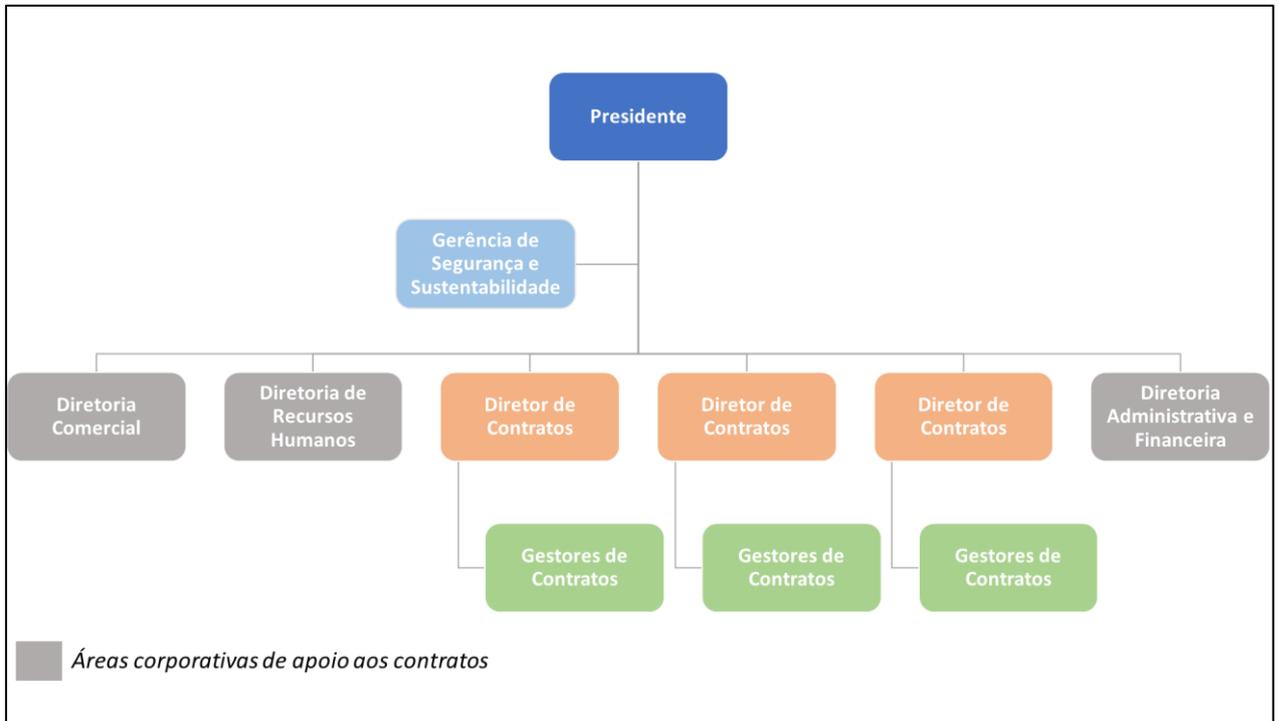
A construtora em estudo tem seu foco de atuação na execução de obras de infraestrutura para geração e transmissão de energia, como usinas hidrelétricas, complexos eólicos, planta solares e linhas de transmissão de alta e média tensão. Sua sede administrativa está localizada na cidade de Florianópolis-SC, mas já realizou obras em treze estados brasileiros. Com 40 anos de experiência no mercado, a empresa trabalha com duas modalidades principais de contratos:

- Obras Civis – construção civil pesada em obras de infraestrutura;
- EPC – Contrato de Empreitada Global: soluções integradas de obras civis, fornecimento de equipamentos, montagem eletromecânica, projeto executivo e comissionamento.

Conta com uma equipe de cerca de 5.000 colaboradores próprios em seus projetos, tendo em sua carteira de clientes os principais *stakeholders* do mercado de energia. Possui as certificações ISO 9001 (ABNT, 2015), ISO 14001 (ABNT, 2015)

ISO 37001 (ABNT, 2021) e ISO 45000 (ABNT, 2018). A estruturação do organograma executivo da companhia é apresentada na figura 8.

Figura 8 - Organograma executivo



Fonte: Autora

### 3.3 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento em análise consiste em um contrato na modalidade EPC, localizado no estado do Piauí. A Usina FV terá potência instalada de 255,72 MWp divididos em cinco subparques, sendo cada subparque composto por seis subcampos. O histograma de recursos prevê para o pico da obra a utilização de 230 equipamentos (linha branca e amarela) e 1.500 colaboradores (mão de obra direta e indireta). Os marcos contratuais de início e fim da construção são respectivamente 15/10/2020 e 20/09/2021.

Os módulos FV utilizados são bifaciais, ou seja, produzem energia através das duas faces. Para a estrutura de suporte dos módulos serão utilizados *solar trackers* com 2,10 m de altura e capacidade de suporte de 30 módulos. Na fundação do *tracker*, devido as características do solo com baixa capacidade de suporte, será

necessário a realização de reforço de solo antes da cravação das estacas. Na tabela 5 estão relacionados os principais quantitativos para compreensão do projeto.

Tabela 5 – Quantitativos do empreendimento em análise

<b>Atividade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Área Total	547,83	ha
Cravação de Estacas	63.936	un
<i>Tracker</i>	21.312	un
Módulos FV	639.360	un
<i>String Box</i>	1.200	un
Vala de BT	51.983,82	m
Vala de MT	17.669,73	m
Cabo Solar	1.440.784	m
Inversor e Transformador	30	un

Fonte: Autora

O cronograma inicial foi elaborado através do método de Gantt (*MS Project*) e pode ser visualizado no anexo A. De acordo com o escopo contratual, a EAP de construção do projeto está apresentada na figura 8. A EAP apresentada possui cinco níveis de abertura, sendo os níveis quatro e cinco (suprimidos da figura para melhor visualização das atividades) representados pelo sub parque, alinhamento ou subcampo de realização da atividade. O escopo inclui ainda itens de engenharia e fornecimento, não abordados neste trabalho.

Figura 9 - EAP do projeto

Nível	Código EAP	EAP
1	1	CONSTRUÇÃO
2	1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES
3	1.1.1	MOBILIZAÇÃO
3	1.1.2	CANTEIRO
2	1.2	CIVIL
3	1.2.1	SUPRESSÃO VEGETAL
3	1.2.2	ACESSOS
3	1.2.3	BASE INVERSOR/TRANSFORMADOR
3	1.2.4	CERCA PERIMETRAL
3	1.2.5	DRENAGEM
4	1.2.5.1	Canal
4	1.2.5.2	Bacia de Detenção
4	1.2.5.3	Travessia
2	1.3	MONTAGEM MECÂNICA
3	1.3.1	REFORÇO DE SOLO
3	1.3.2	CRAVAÇÃO DE ESTACA
3	1.3.3	MONTAGEM DE TRACKER
3	1.3.4	MONTAGEM DE MÓDULO
2	1.4	ELÉTRICA
3	1.4.1	VALA DE BT
3	1.4.2	VALAS DE MT
3	1.4.3	LANÇAMENTO DE CABO SOLAR
3	1.4.4	POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR
3	1.4.5	INSTALAÇÃO DE STRING BOX
3	1.4.7	PRÉ-CONEXÃO STRING BOX
3	1.4.8	PRÉ-CONEXÃO CABO BT NO INVERSOR/TRANSFORMADOR
1	2	COMISSONAMENTO
2	2.1	COMISSONAMENTO A FRIO
2	2.2	COMISSONAMENTO A QUENTE

Fonte: Autora

### 3.4 PROPOSTA DE LINHA DE BALANCEAMENTO

Nesta seção são detalhadas as etapas de elaboração do cronograma em Linha de Balanceamento para o empreendimento em estudo, tendo em vista que o Diagrama de Gantt (*MS Project*) foi desenvolvido no planejamento inicial da obra e estava em aplicação até o momento. O cronograma em linha de Balanceamento foi aplicado em obra a partir do dia 23/03/2021.

### 3.4.1 Unidade de Repetição

Levando em consideração o caminho da energia em uma UFV, as atividades eletromecânicas possuem como unidade repetição o inversor/transformador. Desta maneira, no eixo das ordenadas estarão representados cada um dos 30 inversores/transformadores que constituem um subcampo.

Cada um dos cinco subparques do empreendimento possui seis subcampos, ou seja, seis inversores/transformadores. Na figura 10 é possível visualizar um esquema simplificado das unidades de repetição adotadas.

Figura 10 - Representação dos subcampos

SUBPARQUE 1		SUBPARQUE 2		SUBPARQUE 3		SUBPARQUE 4		SUBPARQUE 5	
1.1	1.4	2.1	2.4	3.1	3.4	4.1	4.4	5.1	5.4
1.2	1.5	2.2	2.5	3.2	3.5	4.2	4.5	5.2	5.5
1.3	1.6	2.3	2.6	3.3	3.6	4.3	4.6	5.3	5.6

Fonte: Autora

### 3.4.2 Pacotes de Trabalho

Foram definidos dez pacotes de trabalho, apresentados na tabela 6. Para a definição dos pacotes de trabalho das atividades de eletromecânica, foi respeitada a EAP, sendo agrupadas apenas as atividades de instalação e pré-conexão do *string-box* e pré-conexão cabo BT no inversor/transformador no pacote de “Conexões Elétricas”.

Tabela 6 - Pacotes de trabalho

<b>EAP</b>	<b>Pacote de Trabalho</b>
<b>MONTAGEM MECÂNICA</b>	
REFORÇO DE SOLO	REFORÇO DE SOLO
CRAVAÇÃO DE ESTACA	CRAVAÇÃO DE ESTACA
MONTAGEM DE TRACKER	MONTAGEM DE TRACKER
MONTAGEM DE MÓDULO	MONTAGEM DE MÓDULO
<b>ELÉTRICA</b>	
VALA DE BT	VALA DE BT
VALAS DE MT	VALAS DE MT
LANÇAMENTO DE CABO SOLAR	LANÇAMENTO DE CABO SOLAR
POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR	POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR
INSTALAÇÃO DE STRING BOX	CONEXÕES ELÉTRICAS
PRÉ-CONEXÃO STRING BOX	
PRÉ-CONEXÃO CABO BT NO INVERSOR/TRANSFORMADOR	
<b>COMISSIONAMENTO</b>	<b>COMISSIONAMENTO</b>

Fonte: Autora

Não foi elaborado um pacote de trabalho referente ao fornecimento pois os materiais necessários para a realização das atividades, tanto de responsabilidade da empresa construtora como da contratante, já estavam na obra. O fornecimento de materiais é sempre tarefa predecessora ao pacote de trabalho, bem como a mobilização de recursos.

### 3.4.3 Rede Lógica

Para a definição da rede de precedências, foi obedecida a sequência executiva que já estava em curso desde os meses iniciais da obra, a mesma é apresentada na figura 11

Figura 11 - Precedências dos pacotes de trabalho

Código	Pacote de Trabalho	Predecessora
A	REFORÇO DE SOLO	
B	CRAVAÇÃO DE ESTACA	A
C	MONTAGEM DE TRACKER	E
D	MONTAGEM DE MÓDULO	C
E	VALA DE BT	B
F	VALAS DE MT	
G	LANÇAMENTO DE CABO SOLAR	D
H	POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR	
K	CONEXÕES ELÉTRICAS	F, G, H
L	COMISSIONAMENTO	K

Fonte: Autora

### 3.4.4 Duração das Atividades e Quantitativos

Como no evento da elaboração da linha de Balanceamento a obra já estava em execução e os marcos contratuais definidos, a estratégia adotada consistiu na adequação da duração das atividades para atendimento dos marcos. Na figura 12 é apresentado o avanço físico obtido até 22/03/2021 para cada um dos dez pacotes de trabalho definidos na seção 3.4.2 e o respectivo prazo final de execução. O quantitativo de reforço de solo, método de fundação das estacas adotado para o projeto, é apresentado em unidades pois para cada uma das estacas foi necessário realizar a troca e compactação do solo antes de sua cravação.

Figura 12 - Prazo e Quantitativo

Pacote de Trabalho	Quantidade Total	Quantidade Executada até 22/03/2021	Unidade	Prazo Final
REFORÇO DE SOLO	63.936	10.811	und	20/08/2021
CRAVAÇÃO DE ESTACA	63.936	9.003	und	26/08/2021
MONTAGEM DE TRACKER	21.312	2.014	und	31/08/2021
MONTAGEM DE MÓDULO	639.360	52.740	und	03/09/2021
VALA DE BT	51.984	9.920	m	30/08/2021
VALAS DE MT	17.670	1.299	m	20/08/2021
LANÇAMENTO DE CABO SOLAR	1.440.784	65.882	m	09/09/2021
POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR	30	0	und	06/09/2021
CONEXÕES ELÉTRICAS	30	0	verba	13/09/2021
COMISSIONAMENTO	30	0	verba	20/09/2021

Fonte: Autora

Para determinação da duração empregada para cada um dos pacotes de trabalho na LOB, se torna necessário respeitar a complexidade de execução, os prazos de mobilização e desmobilização de recursos, as condições climáticas, bem como respeitar a curva de aprendizado dos colaboradores. Desta forma, a duração e o ritmo das atividades adotadas não foram lineares para todo o período de execução do empreendimento, sendo os valores adotados alinhados entre os engenheiros de produção e o planejamento, para garantir que os mesmos eram factíveis e também atender ao prazo final. As durações adotadas e o seu respectivo período podem ser visualizados na Tabela 7. O pacote de trabalho de montagem de *tracker* apresentou a maior variabilidade de durações pois exigiu o maior número de mobilização de mão de obra.

Tabela 7 - Duração dos pacotes de trabalho

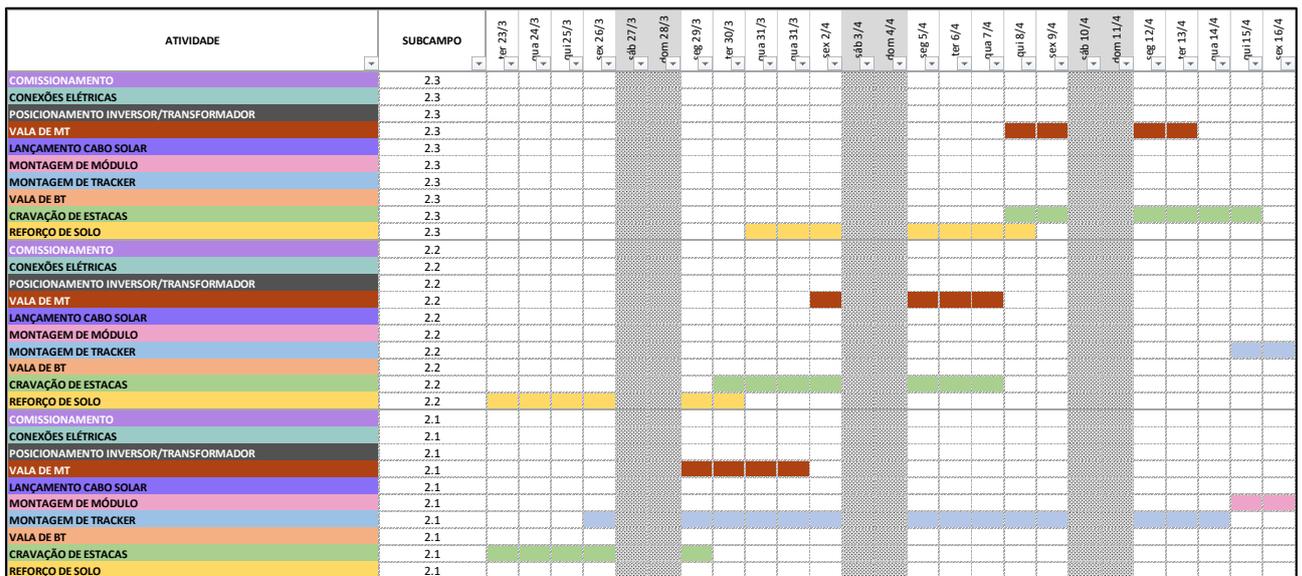
Pacote de Trabalho	Período	Duração
REFORÇO DE SOLO	23/03 até 26/04	6 dias
	27/04 até 20/08	4 dias
CRAVAÇÃO DE ESTACA	23/03 até 09/06	6 dias
	10/06 até 07/07	5 dias
	08/07 até 26/08	3 dias
MONTAGEM DE TRACKER	23/03 até 14/04	14 dias
	15/04 até 30/04	12 dias
	03/05 a 12/05	8 dias
	13/05 até 28/05	6,5 dias
	31/05 até 03/07	3,5 dias
	05/07 até 31/08	3 dias
MONTAGEM DE MÓDULO	05/04 até 30/04	12 dias
	03/05 até 11/05	8 dias
	13/05 até 31/05	6,5 dias
	01/06 até 06/09	3 dias
VALA DE BT	23/03 até 12/04	5 dias
	03/05 até 26/08	4 dias
VALAS DE MT	23/03 até 09/08	4 dias
	10/08 até 20/08	3 dias
LANÇAMENTO DE CABO SOLAR	27/04 até 31/05	5 dias
	01/06 até 09/09	3 dias
POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR	23/03 até 08/09	1 dia
CONEXÕES ELÉTRICAS	06/05 até 21/05	4 dias
	24/05 até 14/09	3 dias
COMISSIONAMENTO	14/05 até 20/09	3 dias

Fonte: Autora

### 3.4.5 Linha de Balanceamento

A linha de Balanceamento foi desenvolvida no software *Microsoft Excel*, sendo imputado no eixo das ordenadas os subcampos e no eixo das abcissas o tempo de execução, desconsiderados os dias não uteis - finais de semana e feriados – indicados pela cor cinza e preenchimento hachurado. Cada pacote de trabalho recebeu uma cor específica para sua identificação como pode ser visualizado no recorte da linha de Balanceamento na figura 13. A duração de cada pacote de trabalho respeitou o determinado na tabela 7, com a premissa de atendimento do prazo final do empreendimento.

Figura 13 - Recorte da linha de Balanceamento



Fonte: Autora

Os pacotes de trabalho nos subcampos com atividades executadas foram suprimidos do cronograma em linha de Balanceamento. A linha de Balanceamento completa pode visualizada no apêndice A.

### 3.4.6 Atribuição de Recursos

Quando a duração do pacote de trabalho é alterada, por consequência os recursos empregados para sua execução também são alterados, sendo necessária a compatibilização do cronograma com o orçamento e elaboração de um plano de

mobilização e desmobilização dos recursos. Em uma obra já em execução, é possível utilizar os dados históricos de produtividade para embasar a necessidade de recursos. Na figura 14 é apresentada uma projeção linear de redução de duração para execução de um subcampo com a respectiva necessidade de mão de obra e equipamentos, baseado nos dados históricos do projeto.

Figura 14 - Projeção do uso de recursos

Pacote de Trabalho	Recursos	Duração Histórica	Projeção 1	Projeção 2	Projeção 3	Projeção 4	Projeção 5	Projeção 6
REFORÇO DE SOLO		14 dias	6 dias	4 dias				
	Mão de Obra	27	63	95				
	Equipamentos	4	9	14				
CRAVAÇÃO DE ESTACA		9 dias	6 dias	5 dias	3 dias			
	Mão de Obra	25	38	45	75			
	Equipamentos	2	3	4	6			
MONTAGEM DE TRACKER		15 dias	14 dias	12 dias	8 dias	6,5 dias	3,5 dias	3 dias
	Mão de Obra	113	121	141	212	261	484	565
	Equipamentos	1	1	1	2	2	4	5
MONTAGEM DE MÓDULO		13 dias	12 dias	8 dias	6,5 dias	3 dias		
	Mão de Obra	35	38	57	70	152		
	Equipamentos	1	1	2	2	4		
VALA DE BT		12 dias	5 dias	4 dias				
	Mão de Obra	47	113	141				
	Equipamentos	7	17	21				
VALAS DE MT		15 dias	4 dias	3 dias				
	Mão de Obra	34	128	170				
	Equipamentos	6	23	30				
LANÇAMENTO DE CABO SOLAR		7 dias	5 dias	3 dias				
	Mão de Obra	17	24	56				
	Equipamentos	NA	NA	NA				
POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR		1 dia						
	Mão de Obra	6						
	Equipamentos	5						
CONEXÕES ELÉTRICAS		NA						
COMISSIONAMENTO		NA						

Fonte: Autora

Através das projeções lineares (figura 14) a equipe de produção definiu uma equipe ótima para contratação efetiva, aproveitando as oportunidades de otimização considerando as novas durações definidas. A composição das equipes e as projeções de custos incorridos devido ao replanejamento não serão abordadas neste trabalho devido ao sigilo comercial. Entretanto, salienta-se a boa prática de gestão de análise físico financeira para embasar as decisões de alteração de planejamento e de mobilização e desmobilização de recursos, de modo a zelar pelo resultado e saúde financeira dos contratos.

### 3.5 ANÁLISE DE DADOS

Para a visualização da aderência ou não aderência da produção ao planejamento desenvolvido em linha de Balanceamento, inicialmente foi realizada uma análise pura de avanço físico. Para tal, são construídas curvas comparando o avanço previsto em cronograma e o realizado para os dois momentos da obra, ou seja, a primeira curva considera o previsto pelo cronograma de Gantt (*MS Project*), e a segunda curva considera a produção prevista na linha de Balanceamento. Não são adotados pesos para os pacotes de trabalho, pois independente da sua complexidade, cada um dos pacotes é necessário para a energização e operação completa de um subparque. Os dados expostos foram extraídos da planilha de avanço físico, sendo a mesma a ferramenta oficial utilizada pelo cliente e construtor para medição de avanço físico e composição das medições.

Posteriormente, será realizada uma análise relativa ao uso dos recursos nos dois momentos de execução da obra, calculando-se a quantidade de homens hora necessários para o avanço físico de 1 MWp de construção em cada um dos meses. Neste momento será considerado apenas a parcela de mão de obra direta das atividades eletromecânicas, excluindo-se a parcela referente ao escopo civil, não contemplado neste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados resultados obtidos através do acompanhamento da produção, iniciando-se pela comparação entre os cronogramas previstos e realizado do método de Gantt. Em seguida, é realizada a análise da aderência ao planejamento através da utilização do cronograma em linha de Balanceamento, desenvolvido através da metodologia apresentada no capítulo 3.

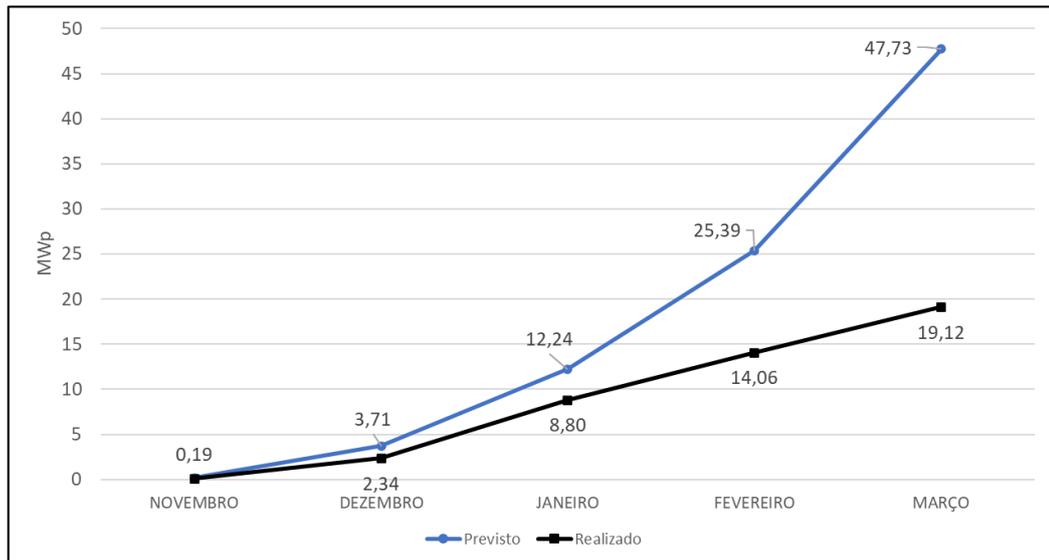
Posteriormente será apresentada uma análise do avanço físico de acordo com os recursos mobilizados, a fim de avaliar a empregabilidade dos recursos ao longo dos meses de execução da obra, sendo o capítulo finalizado com uma análise financeira correlacionando a data de energização esperada para o parque, o avanço físico obtido e o valor da energia no mercado.

### 4.1 ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO COM O CRONOGRAMA DE GANTT

As atividades eletromecânicas do empreendimento tiveram início no dia 24/11/2020, com a atividade de reforço de solo. O cronograma definido como linha de base para a obra em estudo foi elaborado através do modelo Gantt, e a projeção de finalização das para as atividades é o dia 20/09/2021. O cronograma supracitado pode ser visualizado no anexo A. Nesta etapa, será analisada a aderência ao planejamento entre o dia 24/11/2020 – início das atividades- e o dia 22/03/2021, período onde o único modelo de cronograma utilizado para planejamento e comunicação de metas para a equipe de produção era o Digrama de Gantt. Após o dia 23/03/2021 o cronograma em linha de Balanceamento passou a ser utilizado e o mesmo é objeto de estudo da seção subsequente.

O gráfico de avanço físico esperado para as atividades até o dia 22/03/2022 pode ser visualizado na figura 15. A curva foi gerada adotando-se a potência do parque no eixo y e o mesmo peso para todos os pacotes de trabalho, ou seja, o avanço total de cada um dos dez pacotes de trabalho é equivalente a 25,57 MWp, não sendo relacionado o peso financeiro ou complexidade de execução dos mesmos.

Figura 15 - Avanço Físico de novembro/21 até 22 de março/21



Fonte: Autora

Ao se analisar o gráfico da figura 15, pode-se inferir a diferença entre a execução acumulada prevista e efetivamente realizada. Ao início do projeto, a discrepância é pequena, entretanto, a partir do quarto mês (fevereiro/21), o distanciamento entre as curvas demonstra o atraso das atividades. Na tabela 8 verifica-se a diferença entre o acumulado previsto e realizado para cada um dos meses. Entre os motivos apontados como causas dos atrasos, pode-se citar a morosidade para liberação das licenças ambientais e o início da obra e a dificuldade de definição do procedimento executivo de reforço de solo, quanto ao tipo de material a ser utilizado na substituição e quantidade de camadas de aplicação para atendimento aos requisitos de projeto, sendo essa atividade antecessora das demais.

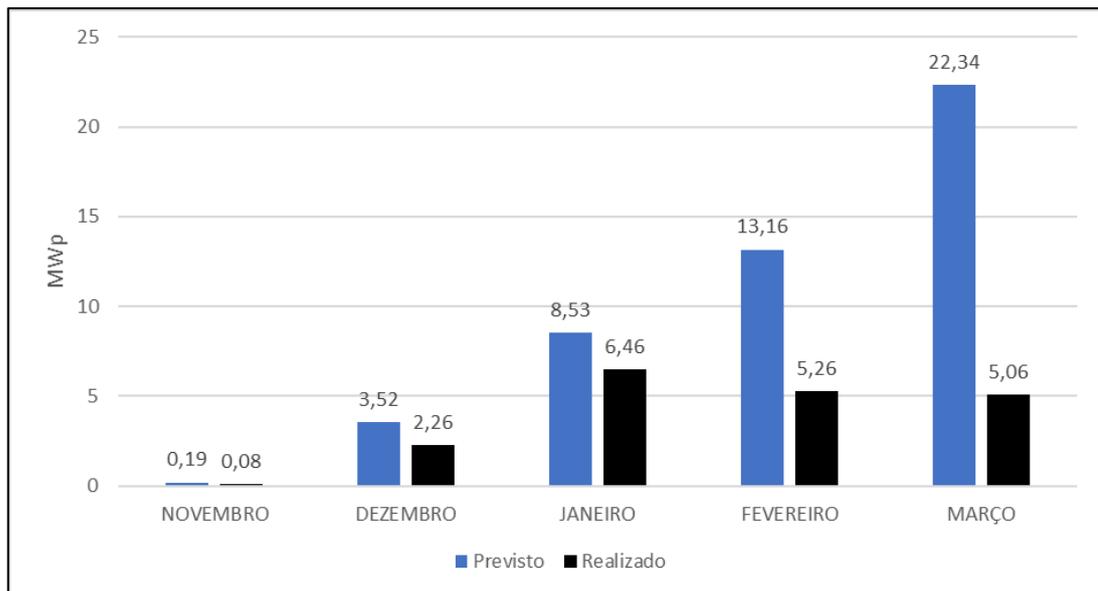
Tabela 8 – Diferença entre previsto e realizado até 23/03/2022

	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
Avanço Acumulado Previsto (MWp)	0,19	3,71	12,24	25,39	47,73
Avanço Mensal Acumulado Realizado (MWp)	0,08	2,34	8,80	14,06	19,12
Desvio	-0,11	-1,37	-3,43	-11,33	-28,62

Fonte: Autora

Quando à análise mensal de avanço físico é considerada, nota-se que em nenhum dos meses o avanço físico realizado foi superior ao previsto (figura 16), desta maneira, todos os atrasos foram somados, não havendo compensação de avanço entre os meses. Verifica-se também a grande dificuldade de incremento de avanço nos meses de fevereiro e março/21, onde a diferença entre previsto e realizado atinge 7,89 MWp e 17,18 MWp, respectivamente.

Figura 16 – Avanço físico mensal até 22/03/21



Fonte: Autora

Com o objetivo de compreender qual dos pacotes de trabalho apresentou a maior diferença de execução prevista e realizada, foi elaborado o quadro apresentado na figura 17, onde para cada um dos pacotes de trabalho compara-se o percentual de avanço físico esperado.

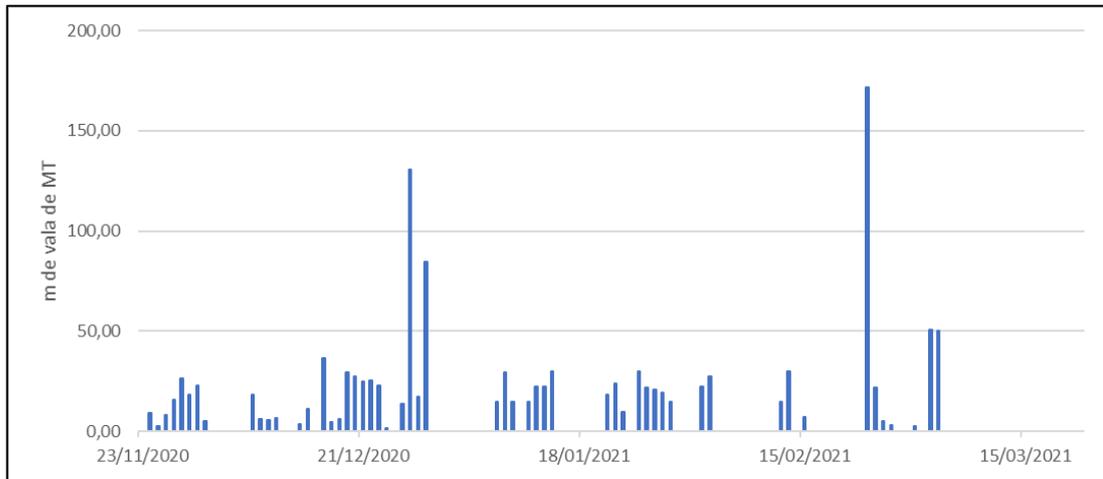
Figura 17 - Comparativo de percentual de avanço físico previsto e realizado por atividade até 22/03/2021

Pacote de Trabalho	% Avanço Previsto	% Avanço Realizado	Varição
REFORÇO DE SOLO	23,33%	16,91%	-6,42%
CRAVAÇÃO DE ESTACA	20,00%	14,08%	-5,92%
MONTAGEM DE TRACKER	17,14%	9,45%	-7,69%
MONTAGEM DE MÓDULO	16,67%	8,25%	-8,42%
VALA DE BT	23,33%	19,08%	-4,25%
VALAS DE MT	30,00%	7,35%	-22,65%
LANÇAMENTO DE CABO SOLAR	13,33%	4,57%	-8,76%
POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR	30,00%	0,00%	-30,00%
CONEXÕES ELÉTRICAS	16,67%	0,00%	-16,67%
COMISSIONAMENTO	13,33%	0,00%	-13,33%

Fonte: Autora

O pacote de trabalho de vala de MT e de posicionamento do inversor/transformador possuem o maior desvio de prazo em relação ao planejamento inicial - 22,65% de diferença. Quanto ao pacote de vala de MT, ocorreu o atraso da aprovação do procedimento executivo da mesma e a sua execução durante o período de chuva da região, que implicou na impossibilidade de trabalho não somente nos dias de precipitação, mas na necessidade de esgotamento da água acumulada em valas já abertas e consequente retrabalho de escavação e regularização do fundo das valas. Na figura 18 visualiza-se a produção diária das valas entre os dias 24/11/21 e 22/03/21, sendo perceptivo períodos de dias não trabalhados. Quanto à atividade de posicionamento dos inversores/transformadores, o atraso é consequência do atraso na atividade de base do inversor/transformador contemplada no escopo civil (figura 9).

Figura 18 – Produção diária - Vala de MT até 22/03/21



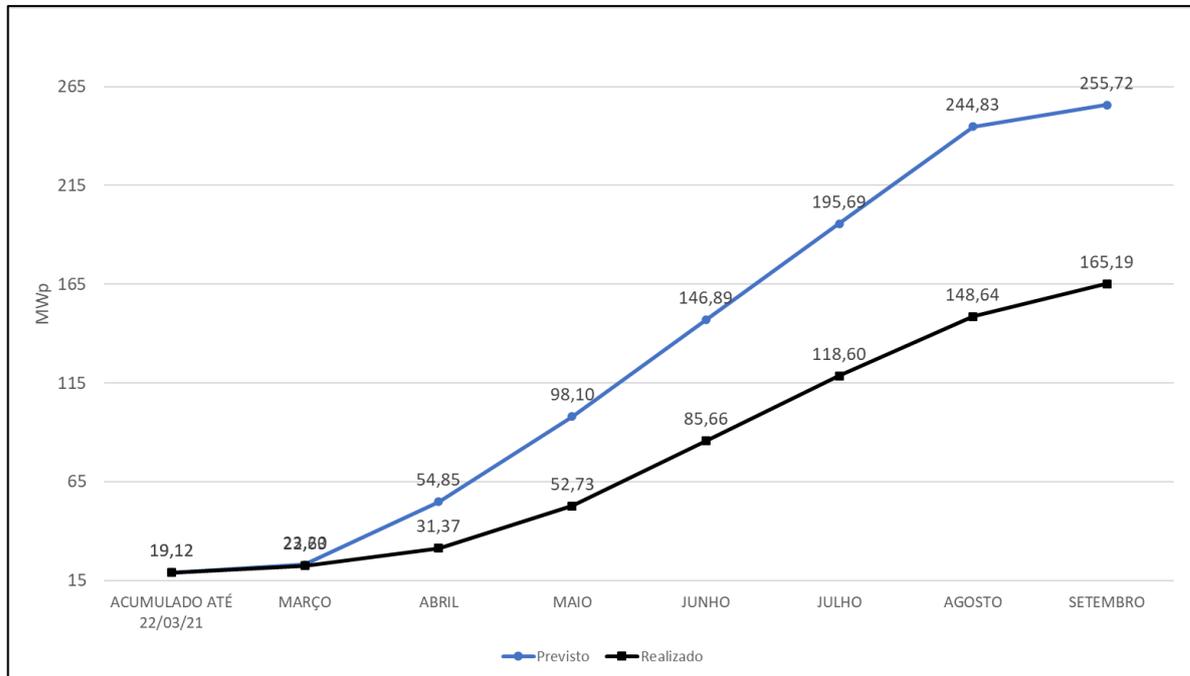
Fonte: Autora

#### 4.2 ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO COM O CRONOGRAMA EM LINHA DE BALANCEAMENTO

Com a análise do atraso nas atividades acumuladas até março/21, foi necessário realizar a reprogramação do empreendimento. Adotou-se como premissa o cumprimento dos prazos de finalização das atividades para atingimento do marco final de energização do parque, sendo readequadas as equipes e durações conforme necessidade.

A reprogramação foi realizada através da construção da linha de Balanceamento, conforme exposto no capítulo 3. O cronograma no modelo Gantt (*MS Project*) continuou sendo utilizado como ferramenta de comunicação externa do planejamento, pois seu envio semanal era requisito do cliente. Na figura 19 é possível visualizar a aderência a reprogramação, sendo o previsto igualado ao executado até 22/03/21.

Figura 19 – Avanço Físico até 20/09/21



Fonte: Autora

A curva de avanço físico apresentada indica a diferença entre as produções previstas e realizadas após o replanejamento, sendo atingido apenas 64,5% de avanço físico na data em que esperava-se finalizar a construção e realizar a energização completa do parque. Nota-se uma inclinação maior da reta do realizado ao longo dos meses, indicando um incremento de produção, apesar da mesma não acompanhar a curva prevista. Salienta-se também que o período de chuva da região se encerra no mês de março/21.

A partir de março/21, compreende-se que as dificuldades iniciais de mobilização de canteiro, licenças, aprovação de projetos e procedimentos executivos estão superadas, sendo a diferença encontrada resultado de erros provenientes da distribuição e mobilização equivocada dos recursos, da disponibilidade de material e também do planejamento das atividades. Na figura 20 é possível verificar a diferença entre a evolução física mensal acumulada.

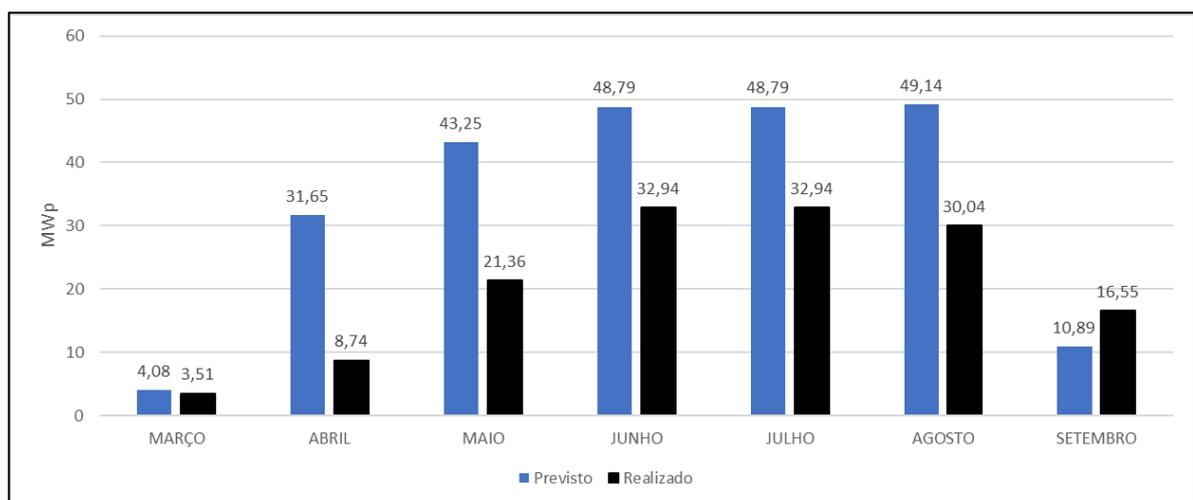
Figura 20 - Diferença entre avanço físico previsto e realizado entre 23/03/21 e 20/09/21

	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
Avanço Acumulado Previsto (MWp)	23,20	54,85	98,10	146,89	195,69	244,83	255,72
Avanço Mensal Acumulado Realizado (MWp)	22,63	31,37	52,73	85,66	118,60	148,64	165,19
Desvio	-0,58	-23,48	-45,37	-61,23	-77,09	-96,19	-90,53

Fonte: Autora

Ao verificar diferença entre o avanço mensal, pode-se identificar que apesar de acumular uma diferença considerável, nos meses entre maio e agosto ocorreu um incremento de avanço físico total, resultado da mobilização de colaboradores e equipamentos e do atingimento do auge da capacidade produtiva após o período de aprendizado. Entretanto, a estratégia adotada não acompanhou o esperado, como confirma a figura 21, a qual demonstra que entre março e agosto, o avanço físico realizado foi inferior ao avanço físico previsto, acumulando-se todos os atrasos desses meses. No mês de setembro/21 a produção realizada extrapola a produção prevista, resultado da não desmobilização de recursos prevista originalmente para o mês.

Figura 21 - Avanço físico mensal entre 23/03/21 e 20/09/21



Fonte: Autora

Para melhor compreensão da aderência ao planejamento, o avanço esperado para cada um dos pacotes de trabalho pode ser visualizado na figura 22. Em

comparação com o quadro da figura 17, verifica-se a menor variação entre previsto e realizado no pacote de trabalho de valas de MT, justificado pela aprovação do procedimento executivo, início do período seco e execução das valas com menor seção típica. Entretanto, as atividades contempladas pelo escopo elétrico e de comissionamento passam a apresentar atraso, as quais impactam diretamente no início da operação comercial da usina.

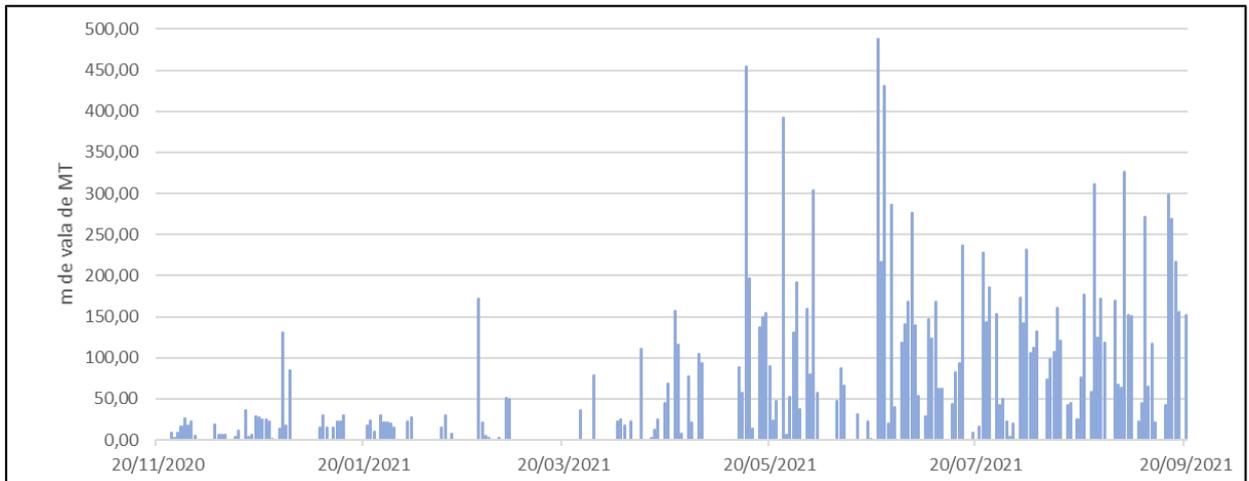
Figura 22 - Comparativo de percentual de avanço físico previsto e realizado por atividade entre 22/03/21 e 20/09/21

Pacote de Trabalho	% Avanço Previsto	% Avanço Realizado	Varição
REFORÇO DE SOLO	100%	91,03%	-8,97%
CRAVAÇÃO DE ESTACA	100%	87,55%	-12,45%
MONTAGEM DE TRACKER	100%	70,24%	-29,76%
MONTAGEM DE MÓDULO	100%	66,60%	-33,40%
VALA DE BT	100%	86,24%	-13,76%
VALAS DE MT	100%	84,52%	-15,48%
LANÇAMENTO DE CABO SOLAR	100%	43,94%	-56,06%
POSICIONAMENTO INVERSOR/TRANSFORMADOR	100%	56,67%	-43,33%
CONEXÕES ELÉTRICAS	100%	38,92%	-61,08%
COMISSIONAMENTO	100%	33,33%	-66,67%

Fonte: Autora

Para efeitos de comparação, na figura 23 pode-se visualizar a produção diária do pacote de trabalho de Vala de MT até o dia 20/09/21. Percebe-se que a partir de março/21 há uma maior continuidade na atividade, bem como um ganho significativo de produção.

Figura 23 - Produção diária - Vala de MT até 20/09/21

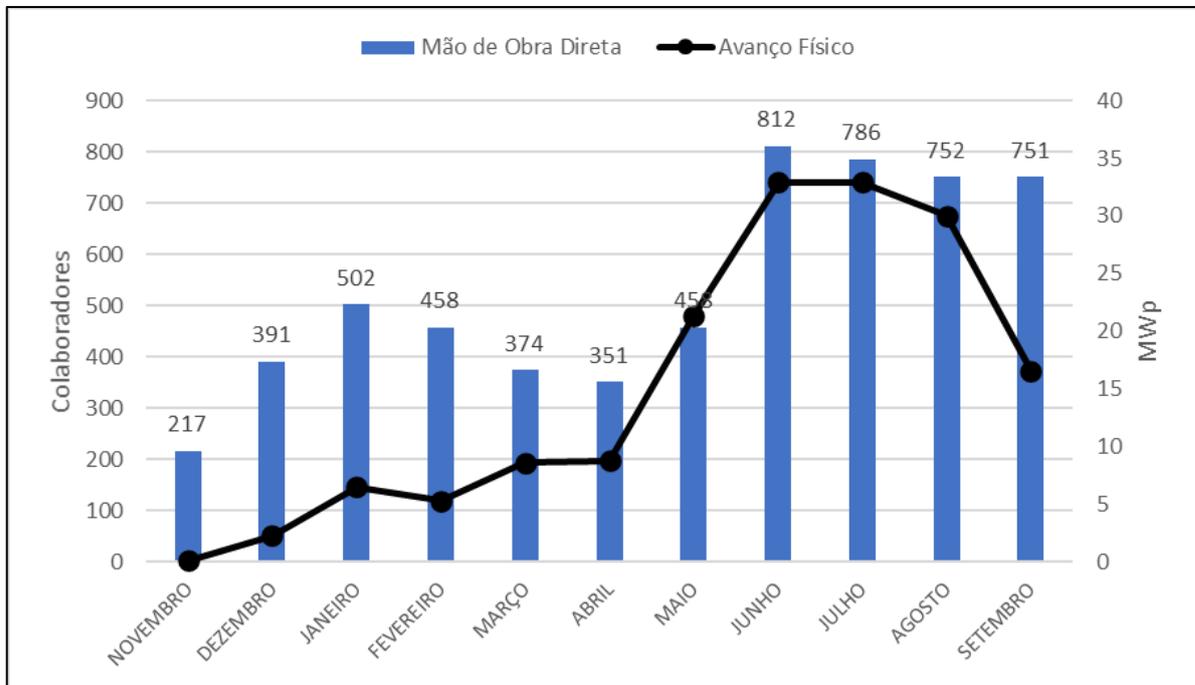


Fonte: Autora

### 4.3 USO DOS RECURSOS

Para compreender completamente a aderência ao planejamento, é necessário levar em conta os recursos mobilizados para desenvolvimento das atividades. Quando mais equipamentos e mão de obra são alocados na execução de um determinado pacote de trabalho, espera-se que com o incremento, o tempo de execução da mesma seja reduzido. Com o plano de mobilização realizado a partir da reprogramação, no gráfico da figura 24 é possível verificar a evolução mensal do avanço físico em paralelo com o número de colaboradores alocados para a execução das atividades eletromecânicas e de comissionamento no período. Foi considerada apenas a mão de obra direta e excluída a mão de obra alocada nas atividades do escopo civil, logo, o número de colabores apresentado não é equivalente ao número total de colaboradores do projeto.

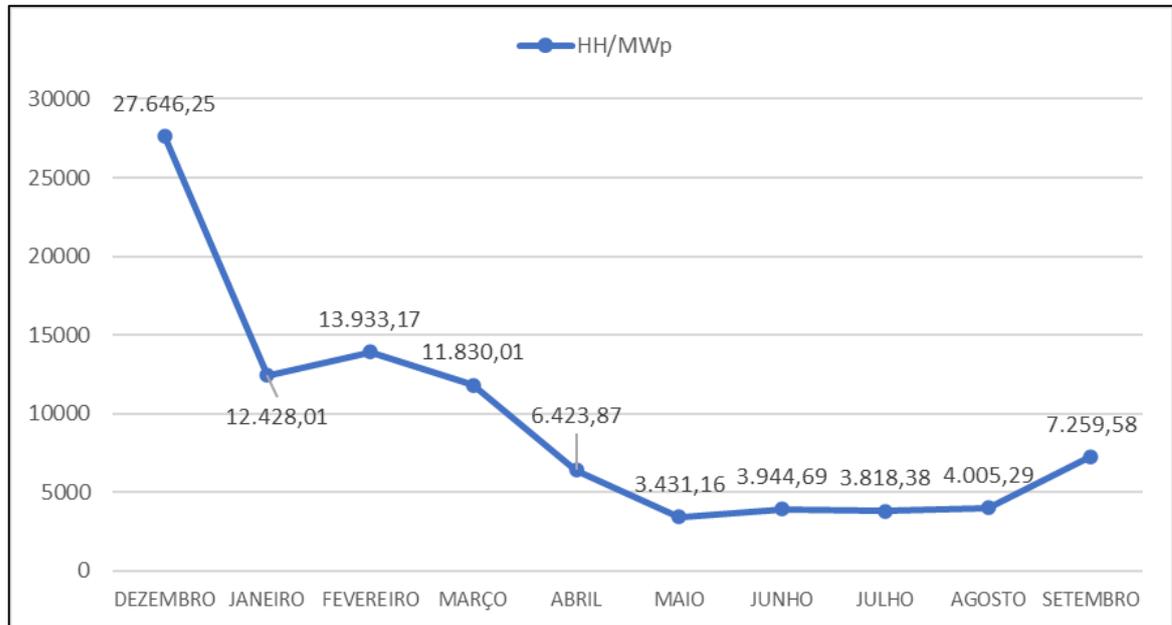
Figura 24 - Avanço físico comparativo com o número de colaboradores



Fonte: Autora

Entre os meses de novembro/20 a março/21, há um incremento no número de colaboradores não refletido em um aumento do avanço físico, indicando equívocos de mobilização e do uso e distribuição do recurso em campo. Já nos meses de abril a setembro, pode-se verificar que a variação de recursos acompanhou a variação no avanço físico. No gráfico da figura 25, pode-se verificar a quantidade de homens hora necessário para gerar o avanço físico de 1MWp ao longo dos meses. Para cada colaborador foi considerada uma jornada de 8h ao longo de 20 dias úteis no mês, ou seja, cada colaborador apontado no gráfico da figura 24 corresponde a 160 homem hora no gráfico da figura 25.

Figura 25 - Homem hora necessário para avanço de 1 MWp



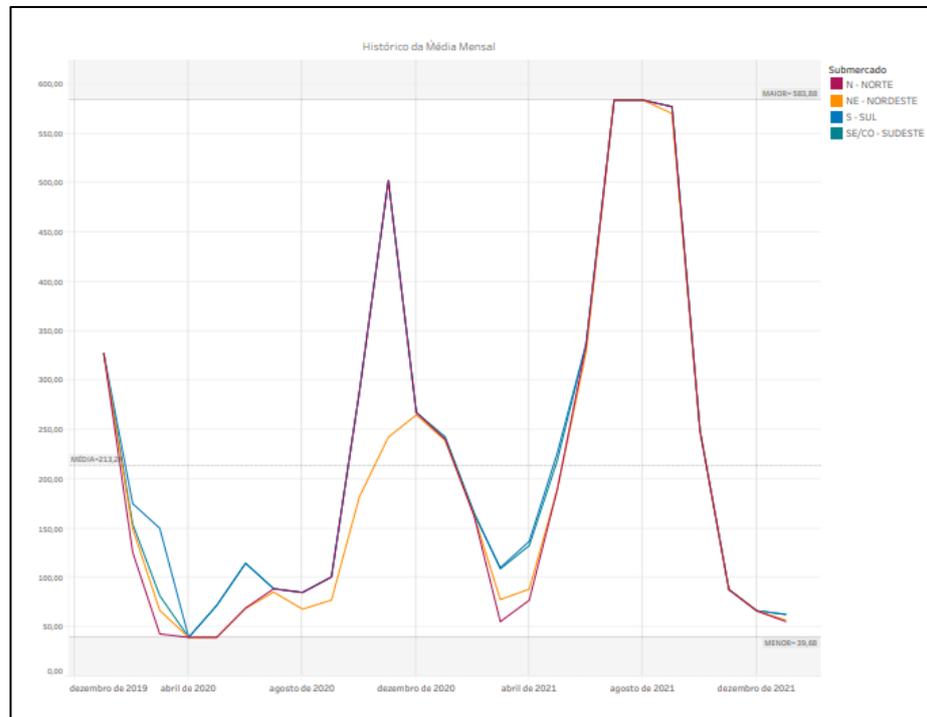
Fonte: Autora

Confirmando os dados expostos no gráfico da figura 24, a quantidade de homem hora necessária para o avanço de 1 MWp foi reduzida de maneira significativa a partir do mês de abril/21, sendo o melhor o mês de maio/21, onde foi necessário apenas 3.431,16 HH – ou 21,45 colaboradores – para avanço físico de 1 MWp. Já no mês de dezembro, 27.646,25 HH – ou 172,79 colaboradores - foram necessários para o mesmo avanço físico, uma variação de 805%.

#### 4.4 ANÁLISE FINANCEIRA

No dia 20/09/2021, 10 dos 30 subcampos que compõe o complexo estavam comissionados e em condições de entrar em operação, ou seja, 85,24 MWp. De acordo com os dados da Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE), na data de 20/09/2021 o valor do MWh era de R\$ 583,85. O país se encontrava-se em um momento de crise hídrica e o valor do MWh estava próximo ao seu valor de pico em um horizonte histórico de três anos, como pode ser visualizado na figura 26.

Figura 26 – Média histórica de valores do MWh



Fonte: CCEE

Considerando uma perda de 30% sobre a capacidade máxima de geração do parque (MWp) e um período de geração de 5h diárias devido a incidência solar, apresenta-se na figura 27 a estimativa de perda diária devido não energização dos 20 subcampos, ou seja, R\$ 348.351,18 por dia de não operação comercial. Salienta-se que os dados são apresentados para sensibilidade de grandeza, pois o fator de perda, o período de operação e o valor do MWh são variáveis.

Figura 27 - Análise financeira de não geração

<b>Capacidade total</b>	255,72 MWp
<b>Capacidade operacional em 20/09/21 - 10 subcampos</b>	85,25 MWp
<b>Capacidade não operacional em 20/09/21 - 20 subcampos</b>	170,47 MWp
<b>Fator de perda</b>	0,3
<b>Capacidade de geração não operacional</b>	119,329 MW
<b>Valor do MWh</b>	R\$ 583,85
<b>Período de operação</b>	5 h
<b>Valor da geração não operacional - dia</b>	<b>R\$ 348.351,18</b>

Fonte: Autora

## 5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões derivadas dos objetivos, da aplicação do método de análise de dados deste trabalho, bem como são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Considerando o exponencial crescimento de instalação de parques solares no Brasil, este trabalho dedicou-se a explorar diferentes maneiras de realização do planejamento das obras destes empreendimentos. Inicialmente, foi realizada uma contextualização quanto aos componentes de uma UFV e quanto ao processo de planejamento utilizando o Diagrama de Gantt e a Linha de Balanceamento.

Como o empreendimento escolhido para realização do estudo de caso utilizava originalmente o Diagrama de Gantt (*MS Project*), na oportunidade da elaboração de uma reprogramação das atividades, foi desenvolvido e aplicado o planejamento em linha de Balanceamento para o mesmo, partindo-se da premissa que a Linha de Balanceamento é indicada para o planejamento de obras repetitivas. A unidade de repetição considerada para a construção da linha de Balanceamento foi um inversor/ transformador, unidade que constitui um subcampo do empreendimento. O objetivo do trabalho é cumprido ao se realizar a análise comparativa entre a aderência do planejamento nos dois momentos da obra: no primeiro momento com a utilização do Diagrama de Gantt e no segundo momento com a utilização da Linha de Balanceamento.

A análise inicial do planejamento, com a utilização única do Diagrama de Gantt apresentava um grande risco de atraso gerado por interferência entre as atividades, pelo baixo nível de controle da utilização de recursos e pela não compatibilização do ritmo real e planejado das atividades. Verificou-se também a variação de ritmos da mesma atividade prevista em cronograma, sem um plano de mobilização ou desmobilização de recursos. Os dados exibidos no capítulo 4 permitem verificar que, apesar de nos dois cenários a obra apresentar atrasos, no período de utilização da Linha de Balanceamento a mão de obra utilizada para realização do avanço físico foi empregada de maneira mais coerente com o planejamento, evidenciando uma

redução de prejuízos financeiros. Demonstra-se com a análise da atividade de Vala de MT, atividade com o maior percentual de atraso com a utilização do planejamento com o Diagrama de Gantt, uma maior continuidade de execução com a diminuição de períodos improdutivos.

Uma característica marcante do planejamento deste tipo de empreendimento é a grande dependência entre as atividades e a interferência entre as mesmas durante sua execução. Apesar de ocorrer em grandes áreas territoriais, há uma grande concentração de atividades no mesmo local e no mesmo momento, sendo importante compatibilizar o planejamento de todas as disciplinas com foco na energização das áreas, bem como elaborar um plano logístico de distribuição e armazenamento de materiais. Em geral, UFV's contam com um grande número de colaboradores, grande quantidade de equipamentos e curto prazo, sendo qualquer forma de desperdício e subutilização de recursos prejudicial à saúde financeira do contrato.

A proposta de planejamento em Linha de Balanceamento se mostrou eficiente para UFV's, melhorando aspectos como a fácil identificação de interferência entre atividades, a estabilização do fluxo e dos ritmos de produção, a avaliação e controle da alocação da mão de obra e equipamentos em campo, a participação colaborativa entre planejamento e produção para construção do planejamento e principalmente a melhor comunicação das metas para a equipe de produção. Um ponto a ser observado é que o planejamento foi realizado através do *software Microsoft Excel*, entretanto, há ferramentas computacionais disponíveis no mercado com a finalidade de construção de Linhas de Balanceamento que podem simplificar o processo para o planejador e facilitar a comunicação de produção também aos níveis de gerencia.

## 5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, apresenta-se:

- Análise comparativa da produtividade de montagem de diferentes marcas e tipologias de *solar trackers* disponíveis no mercado;
- Comparativo do tempo de retorno sobre o investimento em UFV's que utilizam módulos simples e módulos bifaciais;

- Gestão visual em obras de infraestrutura que utilizam cronograma em linha de Balanceamento;
- Análise da interferência do período de chuva sobre a produtividade de construção de uma UFV;
- Comparação do tempo de retorno sobre o investimento de uma usina GD e uma usina GC;
- Correlação do valor da energia no mercado livre de acordo com fonte predominante de geração no período, a fim de avaliar as mudanças da matriz energética e o custo da energia para o consumidor;
- Aplicação do *Last Planner System* em UFV's e em obras de infraestrutura;
- Desenvolvimento de dashboards com os principais indicadores de produtividade de UFV's;
- Aplicação da linha de Balanceamento para o planejamento das atividades do escopo civil de UFV's.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Modalidade de energia solar vai gerar mais investimentos.** 2021. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/noticia/modalidade-de-energia-solar-vai-gerar-mais-investimentos/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

ANEEL. **ANEEL bate meta de expansão da matriz elétrica em 2021, três meses antes do previsto.** 2021. Disponível em: < [https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-bate-meta-de-expansao-da-matriz-eletrica-em-2021-tres-meses-antes-do-previsto/](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-bate-meta-de-expansao-da-matriz-eletrica-em-2021-tres-meses-antes-do-previsto/)>. Acesso em: 12 de dezembro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?ID=10146>>. Acesso em: 27 de dezembro de 2021. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039:** Instalações elétricas de média tensão de 1,0kV a 36,2 kV. 1ª edição. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:< <https://www.abntcolecao.com.br/default.aspx> >. Acesso em: 27 de dezembro de 2021. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690:** Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:< <https://www.abntcolecao.com.br/default.aspx>>. Acesso em: 27 de dezembro de 2021. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001:** Sistema de Gestão da Qualidade. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental. 5ª edição. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37001**: Sistema de Gestão Antissuborno. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 45000**: Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

AVILA, A. V.; JUNGLES, A. E. **Gestão do Controle e Planejamento de Empreendimentos**. Florianópolis: Autores, 2013.

BALLARD, H. G.; HOWELL, A. **Toward construction JIT**. In: CONFERENCE OF ASSOCIATION OF RESEARCHERS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT, Sheffield, 1995. Proceeding. Sheffield, 1995.

BALLARD, G. **Lookahead planning**: the missing link in production control. In: V Annual Meeting of the International Group for Lean Construction, 1997, Gold Coast Austrália. Proceedings IGLC'1997, Gold Coast, 1997.

BERNARDES, M. M. S., et al. **Diretrizes para avaliação de sistemas de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas empresas de construção**. In: ENTAC 2002. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, 2002

BERNARDES, M.M.S. **Planejamento e controle da produção para empresas da construção civil**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003. 190p.

BRANDLI, L. L.; SCOPEL, A; PANDOLPFO, A. **Implantação de um sistema de planejamento e controle da produção em uma empresa construtora**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO EM GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., 2005. Porto Alegre, RS.

CANAL SOLAR. **O que é geração distribuída de energia elétrica**. 2021. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2021.

CASTRO, C. L. F.; BORGES, M. R. **Aplicação e controle da técnica da linha de Balanceamento no planejamento de obra vertical**. 2017. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás: Goiânia, 2017.

CCEE. **Painel de Preços. 2021**. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/precos/painel-precos>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2022.

CHOO, H.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. **Workplan: Constraint-based database for work package scheduling**. Journal of Construction Engineering and Management. v.125, n.3, p. 151 -160, Junho de 1999.

CONTE, E. J. **Tecnologia BIM: Aplicação no controle da execução de obras na construção civil** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014

ECCEL, J. V. **Alternativas para escavação e lançamento de cabos subterrâneos em usinas FV**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

EISENHARDT, K.M. **Building theories form case study research**. Academy of Management Review. New York, New York, v. 14 n. 4, 1989.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2021.

FAGUNDES, A. R. **Avaliação do Potencial de Geração e Viabilidade Econômica de Usinas Solares no Brasil**. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Engenharia Econômica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

FORMOSO, T. C. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre, 2001.

FREITAS, S. S. A. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Mestrado em Engenharia Industrial, Bragança-PT, 2008.

FRUGONI, L. V. S.; VOLTA, C. B.; MAGALHÃES, I. A. **Aplicação do método da Linha de Balanceamento no planejamento de controle de obras com atividades repetitivas**. Em: XIII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica UNIFACS, Salvador, BA, 2014.

GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004.

GOMES, G. G. **Análise e dimensionamento geotécnico de fundações em estacas metálicas curtas para trackers em Usinas fotovoltaicas no Brasil**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION - WORLD BANK GROUP. **A Project Developer's Guide: Utility-scale solar photovoltaic power plants**. 2015. Disponível em: <[https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/sustainability-at-ifc/publications/publications\\_utility-scale+solar+photovoltaic+power+plants](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_utility-scale+solar+photovoltaic+power+plants)>. Acesso em 22 de dezembro de 2021.

IRENA. **Renewable Energy Statistics 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>>.

Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. **Is construction project planning a job? A critical examination of focus, role and process**. Construction management and economics, v. 5, n. 3, May, p. 243 – 266, 1987

LIMMER, C. **Planejamento, Orçamentação e Controle de projeto de obras**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos Editora S.A, 1997. Volume 1. 232p.

LOSSO, I. R.; ARAÚJO, H. N. **Aplicação do método da Linha de Balanceamento: Estudo de caso**. Em: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído – ENTAC – Rio de Janeiro, RJ, 1995.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo: Pini, 2010.

MAZIERO, L. T. P. **Aplicação do conceito do método da linha de Balanceamento no planejamento de obras repetitivas: um levantamento das decisões fundamentais para a sua aplicação**. 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

MENDES JÚNIOR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MOREIRA, M.; BERNARDES, S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2001.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Guia PMBOK, v.7, 2001.

PEREIRA, F. A. de S.; OLIVEIRA, M. A. S.; **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. 2ª ed. Publindústria, Portugal. 2015.

PORTAL SOLAR. **Em que consiste um sistema seguidor solar fotovoltaico**. 2016. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/em-que-consiste-sistema-seguidor-solar-fotovoltaico/> > Acesso em: 20 de dezembro de 2021.

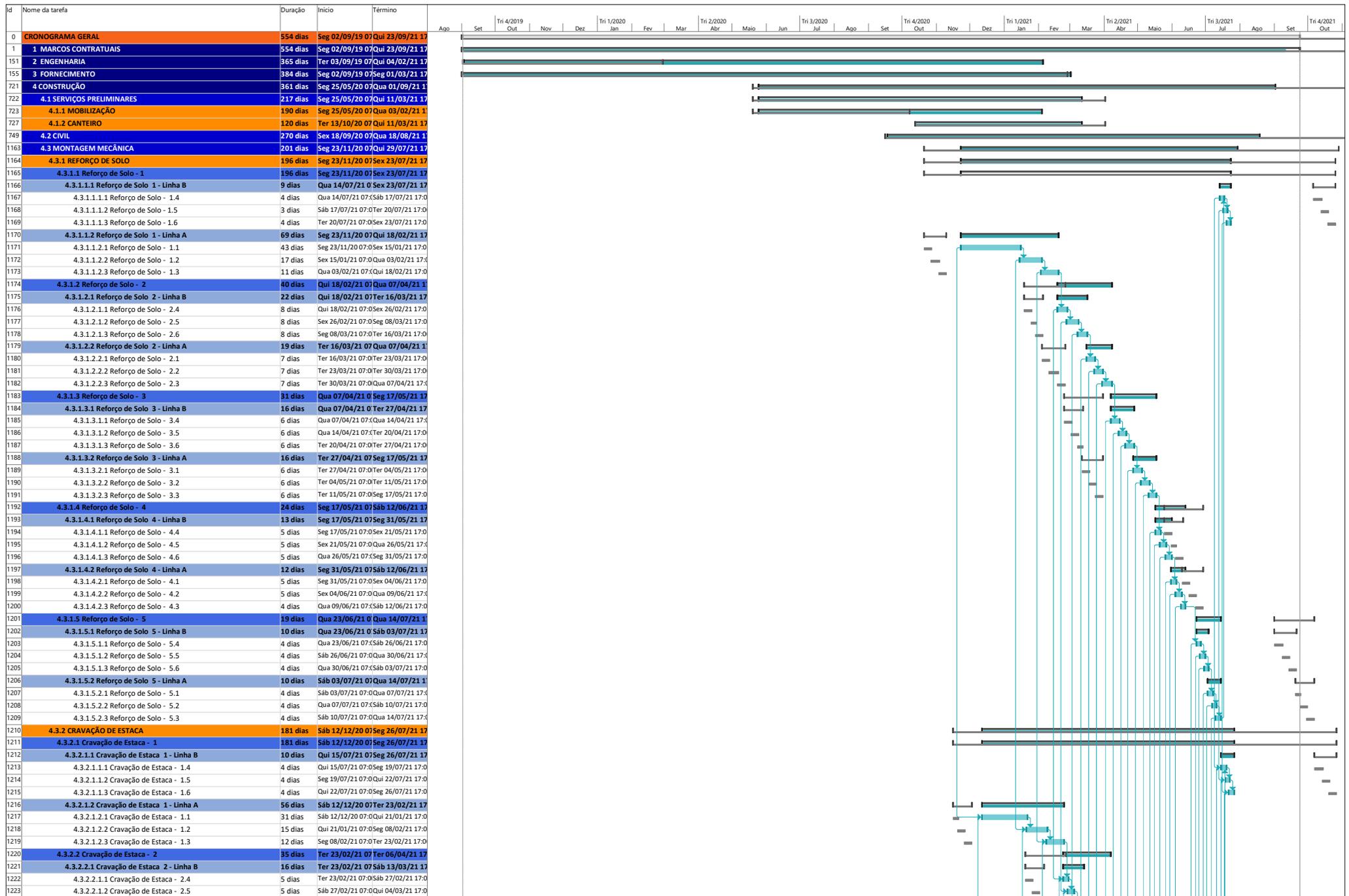
SILUK, A. R. **Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos aplicados à edificação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2017.

TUBINO, D. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Atlas, 2009

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações. v.2**. Oficina de Textos. São Paulo, 2010.

YIN, R.K. **Case study research, design and methods (applied social research methods)**. Thousand Oaks. California: Sage Publications, 2009.

**ANEXO A**  
**CRONOGRAMA GANTT-PERT/COM**









Id	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Ago		Set		Tri 4/2019		Tri 1/2020		Tri 2/2020		Tri 3/2020		Tri 4/2020		Tri 1/2021		Tri 2/2021		Tri 3/2021		Tri 4/2021		
					Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
1461	<b>4.4.3.4.1 Lançamento de Cabo Solar 4 - Linha B</b>	12 dias	Sáb 22/05/21	07:00	Sex 04/06/21	17:00																					
1462	4.4.3.4.1.1 Lanç. Cabo Solar - 4.4	4 dias	Sáb 22/05/21	07:00	Qua 26/05/21	17:00																					
1463	4.4.3.4.1.2 Lanç. Cabo Solar - 4.5	4 dias	Qui 27/05/21	07:00	Seg 31/05/21	17:00																					
1464	4.4.3.4.1.3 Lanç. Cabo Solar - 4.6	4 dias	Ter 01/06/21	07:00	Sex 04/06/21	17:00																					
1465	<b>4.4.3.4.2 Lançamento de Cabo Solar 4 - Linha A</b>	12 dias	Sex 04/06/21	07:00	Qui 17/06/21	17:00																					
1466	4.4.3.4.2.1 Lanç. Cabo Solar - 4.1	4 dias	Sex 04/06/21	07:00	Ter 08/06/21	17:00																					
1467	4.4.3.4.2.2 Lanç. Cabo Solar - 4.2	4 dias	Qua 09/06/21	07:00	Sáb 12/06/21	17:00																					
1468	4.4.3.4.2.3 Lanç. Cabo Solar - 4.3	4 dias	Seg 14/06/21	07:00	Qui 17/06/21	17:00																					
1469	<b>4.4.3.5 Lançamento de Cabo Solar - 5</b>	19 dias	Seg 28/06/21	07:00	Seg 19/07/21	17:00																					
1470	<b>4.4.3.5.1 Lançamento de Cabo Solar 5 - Linha B</b>	10 dias	Seg 28/06/21	07:00	Qui 08/07/21	17:00																					
1471	4.4.3.5.1.1 Lanç. Cabo Solar - 5.4	4 dias	Seg 28/06/21	07:00	Qui 01/07/21	17:00																					
1472	4.4.3.5.1.2 Lanç. Cabo Solar - 5.5	4 dias	Qui 01/07/21	07:00	Seg 05/07/21	17:00																					
1473	4.4.3.5.1.3 Lanç. Cabo Solar - 5.6	4 dias	Seg 05/07/21	07:00	Qui 08/07/21	17:00																					
1474	<b>4.4.3.5.2 Lançamento de Cabo Solar 5 - Linha A</b>	10 dias	Qui 08/07/21	07:00	Seg 19/07/21	17:00																					
1475	4.4.3.5.2.1 Lanç. Cabo Solar - 5.1	4 dias	Qui 08/07/21	07:00	Seg 12/07/21	17:00																					
1476	4.4.3.5.2.2 Lanç. Cabo Solar - 5.2	4 dias	Seg 12/07/21	07:00	Qui 15/07/21	17:00																					
1477	4.4.3.5.2.3 Lanç. Cabo Solar - 5.3	4 dias	Qui 15/07/21	07:00	Seg 19/07/21	17:00																					
1478	<b>4.4.4 POSICIONAMENTO Inversor/Transformador</b>	126 dias	Qui 10/12/20	07:00	Qui 20/05/21	17:00																					
1479	<b>4.4.4.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 1</b>	126 dias	Qui 10/12/20	07:00	Qui 20/05/21	17:00																					
1480	<b>4.4.4.1.1 Posicionamento Inversor/Transformador 1 - Linha B</b>	3 dias	Ter 18/05/21	07:00	Qui 20/05/21	17:00																					
1481	4.4.4.1.1.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 1.4	1 dia	Ter 18/05/21	07:00	Ter 18/05/21	17:00																					
1482	4.4.4.1.1.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 1.5	1 dia	Qua 19/05/21	07:00	Qua 19/05/21	17:00																					
1483	4.4.4.1.1.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 1.6	1 dia	Qui 20/05/21	07:00	Qui 20/05/21	17:00																					
1484	<b>4.4.4.1.2 Posicionamento Inversor/Transformador 1 - Linha A</b>	38 dias	Qui 10/12/20	07:00	Qua 27/01/21	17:00																					
1485	4.4.4.1.2.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 1.1	1 dia	Qui 10/12/20	07:00	Qui 10/12/20	17:00																					
1486	4.4.4.1.2.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 1.2	1 dia	Ter 26/01/21	07:00	Ter 26/01/21	17:00																					
1487	4.4.4.1.2.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 1.3	1 dia	Qua 27/01/21	07:00	Qua 27/01/21	17:00																					
1488	<b>4.4.4.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 2</b>	39 dias	Qui 28/01/21	07:00	Qui 18/03/21	17:00																					
1489	<b>4.4.4.2.1 Posicionamento Inversor/Transformador 2 - Linha B</b>	20 dias	Qui 28/01/21	07:00	Ter 23/02/21	17:00																					
1490	4.4.4.2.1.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 2.4	1 dia	Qui 28/01/21	07:00	Qui 28/01/21	17:00																					
1491	4.4.4.2.1.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 2.5	1 dia	Seg 22/02/21	07:00	Seg 22/02/21	17:00																					
1492	4.4.4.2.1.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 2.6	1 dia	Ter 23/02/21	07:00	Ter 23/02/21	17:00																					
1493	<b>4.4.4.2.2 Posicionamento Inversor/Transformador 2 - Linha A</b>	10 dias	Seg 08/03/21	07:00	Qui 18/03/21	17:00																					
1494	4.4.4.2.2.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 2.1	1 dia	Seg 08/03/21	07:00	Seg 08/03/21	17:00																					
1495	4.4.4.2.2.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 2.2	1 dia	Ter 09/03/21	07:00	Ter 09/03/21	17:00																					
1496	4.4.4.2.2.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 2.3	1 dia	Qui 18/03/21	07:00	Qui 18/03/21	17:00																					
1497	<b>4.4.4.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 3</b>	18 dias	Sex 19/03/21	07:00	Sáb 10/04/21	17:00																					
1498	<b>4.4.4.3.1 Posicionamento Inversor/Transformador 3 - Linha B</b>	7 dias	Sex 19/03/21	07:00	Sex 26/03/21	17:00																					
1499	4.4.4.3.1.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 3.4	1 dia	Sex 19/03/21	07:00	Sex 19/03/21	17:00																					
1500	4.4.4.3.1.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 3.5	1 dia	Qui 25/03/21	07:00	Qui 25/03/21	17:00																					
1501	4.4.4.3.1.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 3.6	1 dia	Sex 26/03/21	07:00	Sex 26/03/21	17:00																					
1502	<b>4.4.4.3.2 Posicionamento Inversor/Transformador 3 - Linha A</b>	7 dias	Qui 01/04/21	07:00	Sáb 10/04/21	17:00																					
1503	4.4.4.3.2.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 3.1	1 dia	Qui 01/04/21	07:00	Qui 01/04/21	17:00																					
1504	4.4.4.3.2.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 3.2	1 dia	Sáb 03/04/21	07:00	Sáb 03/04/21	17:00																					
1505	4.4.4.3.2.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 3.3	1 dia	Sáb 10/04/21	07:00	Sáb 10/04/21	17:00																					
1506	<b>4.4.4.4 Posicionamento Inversor/Transformador - 4</b>	14 dias	Seg 12/04/21	07:00	Qua 28/04/21	17:00																					
1507	<b>4.4.4.4.1 Posicionamento Inversor/Transformador 4 - Linha B</b>	7 dias	Seg 12/04/21	07:00	Seg 19/04/21	17:00																					
1508	4.4.4.4.1.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 4.4	1 dia	Seg 12/04/21	07:00	Seg 12/04/21	17:00																					
1509	4.4.4.4.1.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 4.5	1 dia	Sáb 17/04/21	07:00	Sáb 17/04/21	17:00																					
1510	4.4.4.4.1.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 4.6	1 dia	Seg 19/04/21	07:00	Seg 19/04/21	17:00																					
1511	<b>4.4.4.4.2 Posicionamento Inversor/Transformador 4 - Linha A</b>	3 dias	Seg 26/04/21	07:00	Qua 28/04/21	17:00																					
1512	4.4.4.4.2.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 4.1	1 dia	Seg 26/04/21	07:00	Seg 26/04/21	17:00																					
1513	4.4.4.4.2.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 4.2	1 dia	Ter 27/04/21	07:00	Ter 27/04/21	17:00																					
1514	4.4.4.4.2.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 4.3	1 dia	Qua 28/04/21	07:00	Qua 28/04/21	17:00																					
1515	<b>4.4.4.5 Posicionamento Inversor/Transformador - 5</b>	9 dias	Seg 03/05/21	07:00	Qui 13/05/21	17:00																					
1516	<b>4.4.4.5.1 Posicionamento Inversor/Transformador 5 - Linha B</b>	3 dias	Seg 03/05/21	07:00	Qua 05/05/21	17:00																					
1517	4.4.4.5.1.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 5.4	1 dia	Seg 03/05/21	07:00	Seg 03/05/21	17:00																					
1518	4.4.4.5.1.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 5.5	1 dia	Ter 04/05/21	07:00	Ter 04/05/21	17:00																					
1519	4.4.4.5.1.3 Posicionamento Inversor/Transformador - 5.6	1 dia	Qua 05/05/21	07:00	Qua 05/05/21	17:00																					
1520	<b>4.4.4.5.2 Posicionamento Inversor/Transformador 5 - Linha A</b>	3 dias	Ter 11/05/21	07:00	Qui 13/05/21	17:00																					
1521	4.4.4.5.2.1 Posicionamento Inversor/Transformador - 5.1	1 dia	Ter 11/05/21	07:00	Ter 11/05/21	17:00																					
1522	4.4.4.5.2.2 Posicionamento Inversor/Transformador - 5.2	1 dia																									



Id	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Ago		Tri 4/2019		Tri 1/2020		Tri 2/2020		Tri 3/2020		Tri 4/2020		Tri 1/2021		Tri 2/2021		Tri 3/2021		Tri 4/2021				
					Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1601	4.4.6.4.1.2 Pré-Conexão String Box - 4.5	2 dias	Sáb 12/06/21 07:00	Seg 14/06/21 17:00																							
1602	4.4.6.4.1.3 Pré-Conexão String Box - 4.6	2 dias	Seg 21/06/21 07:00	Ter 22/06/21 17:00																							
1603	<b>4.4.6.4.2 Pré-Conexão String Box 4 - Linha A</b>	<b>16 dias</b>	<b>Ter 29/06/21 07:00</b>	<b>Sex 16/07/21 17:00</b>																							
1604	4.4.6.4.2.1 Pré-Conexão String Box - 4.1	2 dias	Ter 29/06/21 07:00	Qua 30/06/21 17:00																							
1605	4.4.6.4.2.2 Pré-Conexão String Box - 4.2	2 dias	Qua 07/07/21 07:00	Qui 08/07/21 17:00																							
1606	4.4.6.4.2.3 Pré-Conexão String Box - 4.3	2 dias	Qui 15/07/21 07:00	Sex 16/07/21 17:00																							
1607	<b>4.4.6.5 Pré-Conexão String Box - 5</b>	<b>17 dias</b>	<b>Seg 19/07/21 07:00</b>	<b>Sex 06/08/21 17:00</b>																							
1608	<b>4.4.6.5.1 Pré-Conexão String Box 5 - Linha B</b>	<b>8 dias</b>	<b>Seg 19/07/21 07:00</b>	<b>Ter 27/07/21 17:00</b>																							
1609	4.4.6.5.1.1 Pré-Conexão String Box - 5.4	2 dias	Seg 19/07/21 07:00	Ter 20/07/21 17:00																							
1610	4.4.6.5.1.2 Pré-Conexão String Box - 5.5	2 dias	Qui 22/07/21 07:00	Sex 23/07/21 17:00																							
1611	4.4.6.5.1.3 Pré-Conexão String Box - 5.6	2 dias	Seg 26/07/21 07:00	Ter 27/07/21 17:00																							
1612	<b>4.4.6.5.2 Pré-Conexão String Box 5 - Linha A</b>	<b>8 dias</b>	<b>Qui 29/07/21 07:00</b>	<b>Sex 06/08/21 17:00</b>																							
1613	4.4.6.5.2.1 Pré-Conexão String Box - 5.1	2 dias	Qui 29/07/21 07:00	Sex 30/07/21 17:00																							
1614	4.4.6.5.2.2 Pré-Conexão String Box - 5.2	2 dias	Seg 02/08/21 07:00	Ter 03/08/21 17:00																							
1615	4.4.6.5.2.3 Pré-Conexão String Box - 5.3	2 dias	Qui 05/08/21 07:00	Sex 06/08/21 17:00																							
1616	<b>4.4.7 PRÉ-CONEXÃO CABO BT NA INVERSOR/TRANSFORMADOR</b>	<b>149 dias</b>	<b>Qui 18/02/21 07:00</b>	<b>Ter 17/08/21 17:00</b>																							
1617	<b>4.4.7.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1</b>	<b>149 dias</b>	<b>Qui 18/02/21 07:00</b>	<b>Ter 17/08/21 17:00</b>																							
1618	<b>4.4.7.1.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 1 - Li 8 dias</b>	<b>8 dias</b>	<b>Seg 09/08/21 07:00</b>	<b>Ter 17/08/21 17:00</b>																							
1619	4.4.7.1.1.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1.2 dias	2 dias	Seg 09/08/21 07:00	Ter 10/08/21 17:00																							
1620	4.4.7.1.1.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1.2 dias	2 dias	Sex 13/08/21 07:00	Sáb 14/08/21 17:00																							
1621	4.4.7.1.1.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1.2 dias	2 dias	Seg 16/08/21 07:00	Ter 17/08/21 17:00																							
1622	<b>4.4.7.1.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 1 - Li 10 dias</b>	<b>10 dias</b>	<b>Qui 18/02/21 07:00</b>	<b>Seg 01/03/21 17:00</b>																							
1623	4.4.7.1.2.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1.2 dias	2 dias	Qui 18/02/21 07:00	Sex 19/02/21 17:00																							
1624	4.4.7.1.2.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1.2 dias	2 dias	Ter 23/02/21 07:00	Qua 24/02/21 17:00																							
1625	4.4.7.1.2.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 1.2 dias	2 dias	Sáb 27/02/21 07:00	Seg 01/03/21 17:00																							
1626	<b>4.4.7.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2</b>	<b>26 dias</b>	<b>Qui 04/03/21 07:00</b>	<b>Seg 05/04/21 17:00</b>																							
1627	<b>4.4.7.2.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 2 - Li 10 dias</b>	<b>10 dias</b>	<b>Qui 04/03/21 07:00</b>	<b>Ter 16/03/21 17:00</b>																							
1628	4.4.7.2.1.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2.2 dias	2 dias	Qui 04/03/21 07:00	Sáb 06/03/21 17:00																							
1629	4.4.7.2.1.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2.2 dias	2 dias	Qua 10/03/21 07:00	Qui 11/03/21 17:00																							
1630	4.4.7.2.1.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2.2 dias	2 dias	Seg 15/03/21 07:00	Ter 16/03/21 17:00																							
1631	<b>4.4.7.2.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 2 - Li 14 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>Sex 19/03/21 07:00</b>	<b>Seg 05/04/21 17:00</b>																							
1632	4.4.7.2.2.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2.2 dias	2 dias	Sex 19/03/21 07:00	Sáb 20/03/21 17:00																							
1633	4.4.7.2.2.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2.2 dias	2 dias	Qui 25/03/21 07:00	Sex 26/03/21 17:00																							
1634	4.4.7.2.2.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 2.2 dias	2 dias	Sáb 03/04/21 07:00	Seg 05/04/21 17:00																							
1635	<b>4.4.7.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3</b>	<b>37 dias</b>	<b>Ter 13/04/21 07:00</b>	<b>Sex 28/05/21 17:00</b>																							
1636	<b>4.4.7.3.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 3 - Li 16 dias</b>	<b>16 dias</b>	<b>Ter 13/04/21 07:00</b>	<b>Seg 03/05/21 17:00</b>																							
1637	4.4.7.3.1.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3.2 dias	2 dias	Ter 13/04/21 07:00	Qua 14/04/21 17:00																							
1638	4.4.7.3.1.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3.2 dias	2 dias	Qui 22/04/21 07:00	Sex 23/04/21 17:00																							
1639	4.4.7.3.1.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3.2 dias	2 dias	Sex 30/04/21 07:00	Seg 03/05/21 17:00																							
1640	<b>4.4.7.3.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 3 - Li 16 dias</b>	<b>16 dias</b>	<b>Ter 11/05/21 07:00</b>	<b>Sex 28/05/21 17:00</b>																							
1641	4.4.7.3.2.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3.2 dias	2 dias	Ter 11/05/21 07:00	Qua 12/05/21 17:00																							
1642	4.4.7.3.2.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3.2 dias	2 dias	Qua 19/05/21 07:00	Qui 20/05/21 17:00																							
1643	4.4.7.3.2.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 3.2 dias	2 dias	Qui 27/05/21 07:00	Sex 28/05/21 17:00																							
1644	<b>4.4.7.4 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4</b>	<b>37 dias</b>	<b>Sex 04/06/21 07:00</b>	<b>Sex 16/07/21 17:00</b>																							
1645	<b>4.4.7.4.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 4 - Li 16 dias</b>	<b>16 dias</b>	<b>Sex 04/06/21 07:00</b>	<b>Ter 22/06/21 17:00</b>																							
1646	4.4.7.4.1.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4.2 dias	2 dias	Sex 04/06/21 07:00	Sáb 05/06/21 17:00																							
1647	4.4.7.4.1.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4.2 dias	2 dias	Sáb 12/06/21 07:00	Seg 14/06/21 17:00																							
1648	4.4.7.4.1.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4.2 dias	2 dias	Seg 21/06/21 07:00	Ter 22/06/21 17:00																							
1649	<b>4.4.7.4.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 4 - Linha A</b>	<b>16 dias</b>	<b>Ter 29/06/21 07:00</b>	<b>Sex 16/07/21 17:00</b>																							
1650	4.4.7.4.2.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4.2 dias	2 dias	Ter 29/06/21 07:00	Qua 30/06/21 17:00																							
1651	4.4.7.4.2.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4.2 dias	2 dias	Qua 07/07/21 07:00	Qui 08/07/21 17:00																							
1652	4.4.7.4.2.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 4.2 dias	2 dias	Qui 15/07/21 07:00	Sex 16/07/21 17:00																							
1653	<b>4.4.7.5 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 5</b>	<b>18 dias</b>	<b>Seg 19/07/21 07:00</b>	<b>Sáb 07/08/21 17:00</b>																							
1654	<b>4.4.7.5.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 5 - Linha B</b>	<b>8 dias</b>	<b>Seg 19/07/21 07:00</b>	<b>Ter 27/07/21 17:00</b>																							
1655	4.4.7.5.1.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 5.2 dias	2 dias	Seg 19/07/21 07:00	Ter 20/07/21 17:00																							
1656	4.4.7.5.1.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 5.2 dias	2 dias	Sex 23/07/21 07:00	Sáb 24/07/21 17:00																							
1657	4.4.7.5.1.3 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 5.2 dias	2 dias	Seg 26/07/21 07:00	Ter 27/07/21 17:00																							
1658	<b>4.4.7.5.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador 5 - Linha A</b>	<b>8 dias</b>	<b>Sex 30/07/21 07:00</b>	<b>Sáb 07/08/21 17:00</b>																							
1659	4.4.7.5.2.1 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 5.2 dias	2 dias	Sex 30/07/21 07:00	Sáb 31/07/21 17:00																							
1660	4.4.7.5.2.2 Pré-Conexão Cabo BT na Inversor/Transformador - 5.2 dias	2 dias	Seg 02/08/21 07:00	Ter																							

**APÊNDICE A**  
**LINHA DE BALANCEAMENTO**







