

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Natália Gava Gastaldo

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UMA USINA
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Santa Maria, RS
2019

Natália Gava Gastaldo

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UMA USINA DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA**

Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro(a) de Produção.**

Orientador(a): Julio Cezar Mairesse Siluk
Co-orientador(a): Paula Donaduzzi Rigo

Santa Maria, RS
2019

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	7
2.2	OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS	11
2.2.1	Mapeamento de processos	11
2.2.2	Métodos PERT e CPM	12
3	METODOLOGIA	14
3.1	MÉTODO DE PESQUISA	14
3.2	CENÁRIO	14
3.3	ETAPAS DA PESQUISA	16
4	RESULTADOS	18
4.1	MAPEAMENTO DO PROCESSO	18
4.2	SITUAÇÃO ATUAL	21
4.3	OTIMIZAÇÃO	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
	REFERÊNCIAS	29
	APÊNDICE A – QUADRO DE PREPARAÇÕES E DESLOCAMENTOS	32
	APÊNDICE B – GRÁFICO DE GANTT DA SITUAÇÃO ATUAL	33

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UMA USINA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

OPTIMIZATION OF THE CONSTRUCTION PROCESS OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

Natália Gava Gastaldo, Paula Donaduzzi Rigo, Julio Cezar Mairesse Siluk

RESUMO

O mercado de energia solar teve crescimento recorde nos últimos anos no Brasil, aumentando também o número de empresas integradoras. Para que as empresas consigam atender essa alta demanda do mercado, é de grande importância que seus processos sejam realizados de forma eficiente. Com isso, o objetivo desta pesquisa foi propor um modelo otimizado do processo de construção de uma usina de energia fotovoltaica por meio de um estudo de caso. O estudo de caso foi realizado em um projeto de uma usina fotovoltaica de 356kW instalados de uma empresa integradora da cidade de Santa Maria – RS. Foram utilizadas abordagens de mapeamento de processos e Rede PERT/CPM. Analisando as 15 atividades deste processo, a otimização realizada diminuiu o caminho crítico de 291 horas para 251 horas.

Palavras-chave: Usina Solar Fotovoltaica; Empresas Integradoras; PERT/CPM; Caminho Crítico; Otimização de Processos

ABSTRACT

The solar energy market had record growth in recent years in Brazil, associated with the number of solar installation companies. For companies to meet this high market demand, their processes must be efficiently executed. Thus, the aim of this research was proposing an optimized model for the process of building a photovoltaic power plant through a case study. The case study was in a photovoltaic plant project of 356kW, installed by a company from Santa Maria - RS. The Process Management and PERT / CPM Network approaches were used. With the analyzes of 15 activities of the process, the optimization performed reduced the critical path from 291 hours to 251 hours.

Keywords: Photovoltaic Solar Plant; Integrating Companies; PERT/CPM; Critical Path; Process Optimization

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da demanda global de energia, os recursos ambientais estão se tornando cada vez mais escassos (BLASCHKE et al., 2013). Diante disso, diversos autores acreditam na energia solar fotovoltaica como uma das principais fontes energéticas a serem utilizadas na transição da geração de energia elétrica por recursos não renováveis para fontes renováveis (FERREIRA et al., 2018; GOTTSCHAMER; ZHANG, 2016; KABIR et al., 2018). Existem múltiplos fatores a serem considerados ao se instalar uma usina de energia fotovoltaica, como a radiação, temperatura média, umidade, a inclinação do terreno, entre outros (REDISKE et al., 2018). O Brasil, por estar situado entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, recebe altos índices de radiação solar (DIAS et al., 2017), favorecendo a expansão da geração de energia por meio dessa fonte.

No Brasil, a utilização da fonte de radiação solar para a geração de energia elétrica começou a tornar-se atrativa com a publicação da Norma Regulamentadora (REN) de número 482 de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012). Essa norma viabilizou a instalação de sistemas fotovoltaicos, permitindo a conexão desses sistemas na rede de distribuição, classificada como Geração Distribuída (GD). Dentro da GD estão inseridos os mercados de micro e minigeração distribuída (MMGD). Segundo o PORTAL SOLAR (2018), o mercado de MMGD de energia solar teve crescimento recorde em 2018, apresentando 1.750,6 MW de potência operacional instalada. Além disso, o primeiro trimestre de 2019 representou 36,4% de toda a potência instalada em 2018 (GREENER, 2019a). O número de empresas integradoras no Brasil – que projetam, vendem e instalam sistemas fotovoltaicos – cresceram mais de 120% no último ano (GREENER, 2019b). O município de Santa Maria apresentou crescimento similar ao do país, portanto, as empresas já existentes cresceram em número de colaboradores e de projetos e, também, surgiram novas empresas desse ramo na cidade.

Diante do intenso crescimento do mercado de energia fotovoltaica no Brasil, surge o questionamento quanto a organização e gestão de projetos dentro das empresas integradoras, e como elas podem tornar seus processos mais eficientes. Para atender as demandas do mercado, as empresas integradoras podem não ter conseguido estruturar e otimizar seus processos, o que é essencial para manter a viabilidade da prestação de seus serviços. Com isso, o objetivo desta pesquisa é propor um modelo otimizado do processo de construção de uma usina de energia fotovoltaica. Para atingir esse objetivo é necessário mapear o processo, analisar e mensurar os tempos e sequenciamentos, construir a Rede PERT/CPM e realizar as análises necessárias para a otimização.

Este trabalho é justificado sob dois âmbitos: a perspectiva das empresas integradoras de geração de energia fotovoltaica e a perspectiva acadêmica. Com a grande inserção de empresas concorrentes no setor, é importante que as integradoras mantenham seus processos organizados e otimizados, para que assim entreguem o melhor resultado para seus clientes. Investir na adoção de técnicas e ferramentas de gerenciamento de projetos é fundamental para manter as empresas competitivas no mercado (CARVALHO, 2011). Além disso, com o processo otimizado, pode-se dar uma previsão precisa da data de entrega do empreendimento ao cliente. O sucesso de um projeto depende principalmente de um processo eficaz de gerenciamento (SILVA; SILVA; TURET, 2018). Ademais, em projetos de grande escala, é essencial a coordenação das atividades da organização (LEE; KANG; HUANG, 2017).

Quanto a perspectiva acadêmica, realizou-se uma pesquisa nas bases *Scopus* e *Web of Science* com as seguintes palavras-chaves: usina, solar ou fotovoltaica, otimização e processo. Utilizou-se da frase de pesquisa booleana “*“power plant” AND (solar OR photovoltaic) AND optimization AND building*”, resultando em 171 artigos relacionados. Ao realizar uma análise dos títulos dos artigos encontrados na pesquisa realizada, percebe-se que nenhum deles é relacionado ao processo de construção de uma usina solar fotovoltaica, confirmando a relevância e necessidade do estudo em questão. Elencou-se dois estudos que apresentam sinergia a este: Mishakova et al. (2016) escreve sobre a aplicação da ferramenta PERT em processos de construção, porém não apresentaram o processo em questão e seu mapeamento. Os autores Lee, Kang e Huang (2017) aplicam a ferramenta *Fuzzy* PERT em processos de construção de plantas de energia renovável, realizando um estudo de caso em uma planta de energia eólica. O estudo apresentou uma metodologia pertinente a análise, porém, como o estudo anterior, não dá foco ao processo em questão.

Este estudo está organizado em cinco seções. A segunda seção apresenta o referencial teórico construído por meio do estudo bibliográfico. A terceira seção refere-se a metodologia utilizada para atender ao problema de pesquisa. A quarta seção apresenta os resultados do estudo de caso. Por fim, a quinta seção é destinada as conclusões deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico abordado neste estudo, está dividido em quatro subseções. No primeiro momento, apresenta-se o panorama geral sobre a energia fotovoltaica. Em sequência, são discutidos aspectos relacionados a grande área engenharia de produção, centrados principalmente nas áreas gestão do conhecimento organizacional e pesquisa operacional.

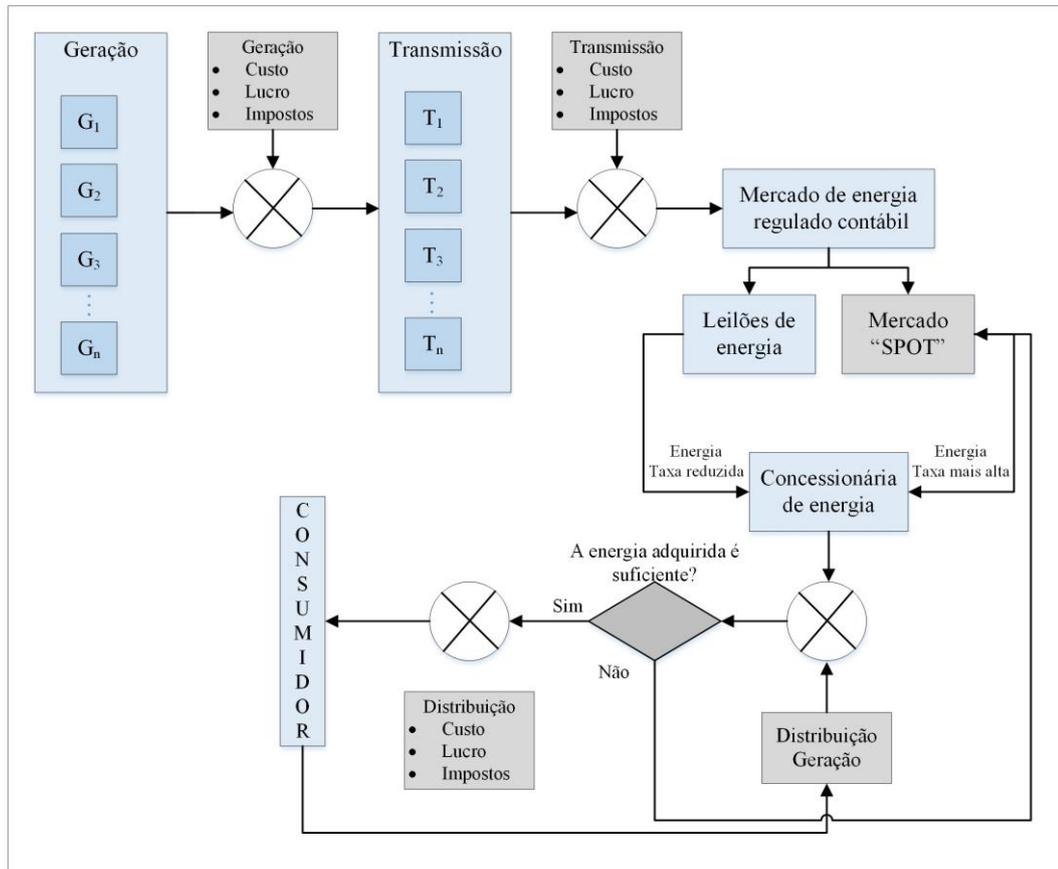
2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O avanço tecnológico ocasionou um maior consumo de energia elétrica (NARAYAN; DOYTCH, 2017). No século XXI, espera-se que a demanda global de energia dobre em relação ao século anterior (MINELLI et al. 2014). Com esse aumento, os recursos ambientais não renováveis apresentam-se cada vez mais escassos (MOSIÑO, 2012). Assim, surge a necessidade de não depender de recursos fósseis e não renováveis. Além disso, o conceito sustentável de produção e consumo de energia tornou-se mais relevante nos últimos anos. Diante dessa situação, a energia solar é considerada uma fonte energética com grande destaque (WU; GUO; XIAO, 2015).

Uma das formas de aproveitar a energia solar é por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico acontece em materiais semicondutores, como o silício, que possuem duas bandas de energia, a banda de valência e a de banda de condução. Quando a luz solar oferece uma quantidade de energia ao elétron mais externo, faz com que ele se mova da banda de valência até a banda de condução, processo do efeito fotovoltaico, que gera energia elétrica (RIGO, 2019).

Nesse sentido, sistemas fotovoltaicos são compostos por módulos fotovoltaicos e na matriz energética brasileira eles podem ser caracterizados por geração de energia centralizada ou distribuída. Geração centralizada trata-se da forma mais convencional, onde é utilizada uma fonte geradora e são necessárias linhas de transmissão para que a energia chegue até o consumidor final. Já na modalidade da geração distribuída, o consumidor participa ativamente tanto do fornecimento de energia quanto do consumo. O processo de geração, transmissão e distribuição de energia, com a nova configuração de geração distribuída, é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Geração, transmissão e distribuição de energia no Brasil.



Fonte: Adaptado de Camilo et al (2017).

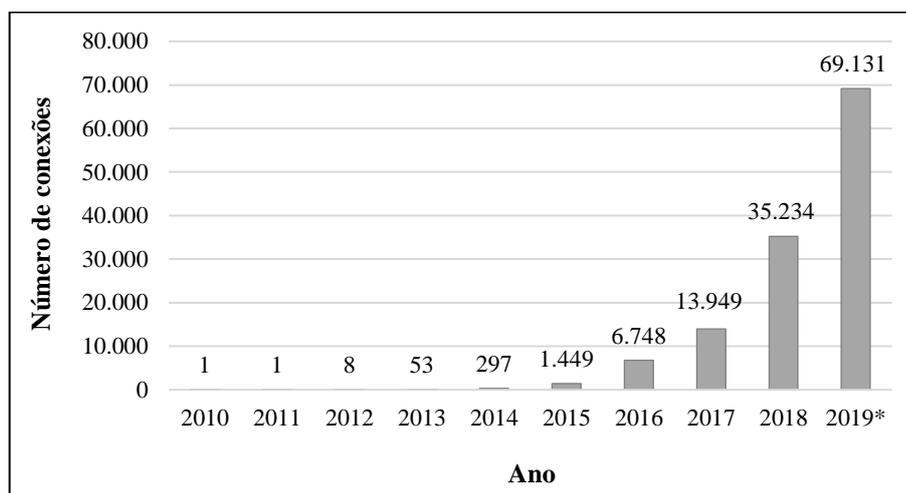
Conforme a ANEEL (2016), a geração distribuída se concretiza com a instalação de micro e miniunidades geradoras, classificadas como Micro e Minigeração Distribuída (MMGD). A MMGD consiste na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras, as quais utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Essas centrais geradoras são conectadas à rede de distribuição por meio das instalações de unidades consumidoras. Há certa diferença entre as modalidades de MMGD. A micro refere-se a uma central geradora, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 megawatt (MW). Também existem diferentes classes de instalação MMGD, que podem ser residenciais, comerciais, industriais, rurais ou públicas.

A energia solar fotovoltaica apresenta números expressivos em diversos países, o que está fortemente ligado às políticas públicas de desenvolvimento. Segundo REN21 (2018), os cinco países que possuem as maiores potências instaladas de geração de energia solar são China,

Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália. Estima-se que a participação das energias renováveis no setor elétrico aumente de 25% em 2017 para 85% em 2050, principalmente através do crescimento da geração de energia solar e eólica (IRENA, 2018).

O Brasil possui uma localização geográfica favorável a geração de energia através do sol. Até o mês de outubro de 2019, o país possuía 126.874 instalações de geração distribuída fotovoltaica, o que representa em 1.457.842,97 kW de potência instalada (ANEEL, 2019). A Figura 2 a seguir ilustra o crescimento da energia solar fotovoltaica por ano, onde pode-se visualizar um grande avanço. No ano de 2012 teve apenas oito conexões e a partir de 2015, o número de conexões demonstrou um aumento significativo.

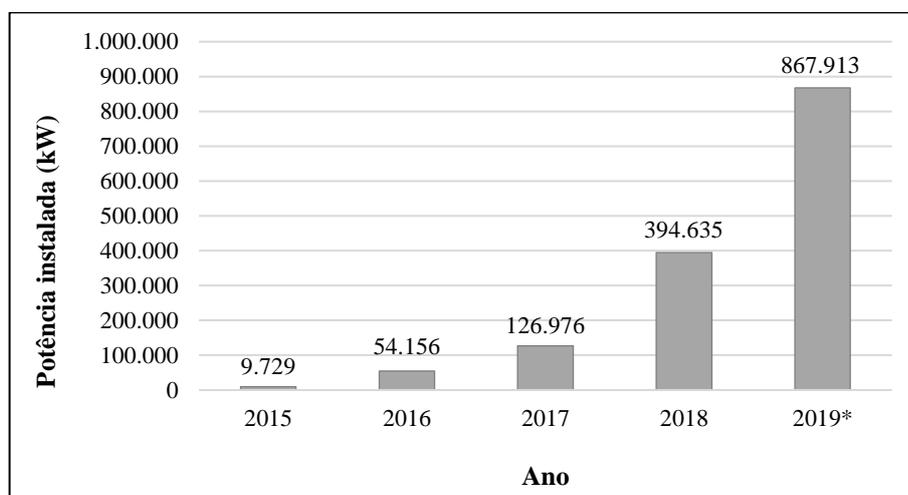
Figura 2 – Número de conexões por ano no Brasil.



Fonte: ANEEL (2019).

O principal marco para esse crescimento foi a primeira atualização da REN ANEEL N° 482 de 2012, a REN ANEEL N° 687 de 2015 (ANEEL, 2015). A atualização da resolução tratou sobre fatores relacionados a MMGD, sistema de compensação de energia, autoconsumo remoto, entre outros. A partir dessa resolução, foi possível perceber grande aumento no número de instalações e consequentemente na potência instalada, ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Potência instalada por ano no Brasil.



Fonte: ANEEL (2019).

Na modalidade MMGD, as instalações são comumente instaladas nos telhados das construções. Mas também, um número considerado de instalações, principalmente quando são de minigeração, são instaladas diretamente no solo. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser divididos em dois grupos. As grandes centrais fotovoltaicas, ou usinas solares, construídas em regiões fora da área urbana, geralmente em áreas com boas condições de irradiação, o que permite uma maior eficiência do sistema (VIANA, 2010). No outro grupo se encontram os sistemas de geração distribuída, que são conectados diretamente na rede de baixa tensão e localizados próximo ao ponto de consumo (PEREIRA; GONÇALVES, 2008).

A maioria das usinas de energia solar são fixas e construídas sobre o solo (Portal Solar, 2019). Porém, também podem ser construídas em *trackers*, estrutura que se movimenta conforme o movimento do sol. O funcionamento de uma usina solar passa pelo seguinte processo: Os painéis solares produzem energia elétrica, então essa energia é transportada a um inversor, o qual tem como função converter a energia que está em corrente contínua para corrente alternada. Então, os inversores entregam a energia produzida pelos painéis e assim a energia é transmitida e distribuída pelas distribuidoras de energia.

2.2 OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

A otimização de processos não é novidade para a maioria das empresas. O conceito de *Total Quality Management* (TQM), desenvolvido desde o ano de 1980, encorajava as organizações a focarem na análise crítica de seus processos, produtos e serviços para a identificação de pequenos pontos de melhoria possíveis (NETTO, 2009). A eficiência relacionada ao tempo de execução e aos recursos relacionados ao projeto são itens essenciais a serem gerenciados (GARCÍA-NIEVES et al., 2019). O principal motivo para se otimizar um processo do ponto de vista das empresas é reduzir os custos do projeto e o finalizar no tempo previsto. Há diversas técnicas matemáticas e serem utilizadas para fim de otimização como programação linear, entre outras (HSIE et al., 2009).

O presente trabalho irá discutir a otimização de processos através de abordagens de mapeamento de processos e diagrama de redes, juntamente com a aplicação dos métodos PERT e CPM.

2.2.1 Mapeamento de processos

O mapeamento de processos é uma das ferramentas utilizadas para gerenciar processos. Trata-se de colocar no papel todas as atividades de um processo e seus relacionamentos, possibilitando uma visão e um entendimento que possa ser compartilhado por todos os envolvidos (BOLZAN et al., 2018). Além disso, possibilita a identificação de melhorias (BONFIM et al., 2018). Para o desenvolvimento do mapeamento de processos podem ser utilizadas ferramentas como diagramas, *Business Process Model and Notation* (BPMN), fluxogramas, entre outras.

O fluxograma de processos pode ser considerado como uma notação mais simplificada que utiliza símbolos como setas, retângulos, losangos, entre outros, para a representação. Junior e Scucuglia (2011) citam que sua utilização possibilita um maior entendimento do processo pelos colaboradores da organização. Fitzsimmons e Fitzsimmons (2005) definem fluxograma de processo como um recurso visual, utilizado por engenheiros com a finalidade de se analisar sistemas de produção, identificando as possibilidades de melhorias na eficácia dos processos. A Figura 4 apresenta a simbologia utilizada em fluxogramas.

Figura 4 – Simbologia utilizada em fluxogramas.

Símbolo	Significado
	Início ou fim do processo
	Atividade
	Subprocesso
	Decisão
	Fluxo do processo

Fonte: Adaptado de Azevedo, Costa e Silva (2018).

2.2.2 Métodos PERT e CPM

O gerenciamento de projetos consiste na organização e controle de atividades, de forma que o projeto possa ser concluído em tão pouco tempo quanto possível (CHEN; HUANG, 2007; SHTUB, 1997). O *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e o *Critical Path Method* (CPM) são métodos de gerenciamento de projetos. O PERT/CPM busca identificar as atividades que consomem mais tempo na rede de atividades que representa um projeto. A ferramenta PERT pode trazer muitos benefícios às organizações, como proporcionar uma melhor visualização das etapas e atividades do projeto, estimar o tempo de execução e indicar quais são as atividades críticas para a conclusão do projeto (AZARON et al., 2006; CHEN; HUANG, 2007).

O procedimento utilizado para a aplicação dos métodos PERT e CPM pode ser caracterizado em cinco etapas: (1) Identificar as atividades, seus tempos e seu sequenciamento; (2) Representar a rede; (3) Identificar o caminho crítico; (4) Determinar os parâmetros: Início ou término mais cedo, início ou término mais tarde e folgas de tempo das atividades; e (5) Interpretar os resultados.

A representação de redes expressa a sequência de atividades de um projeto em termos de nós e setas (Fitzsimmons e Fitzsimmons, 2005). Segundo os autores, essa representação pode ser feita como atividades sobre nós (AON, *activity on node*), onde os nós representam as atividades (A_{ij}) e as setas o seu fluxo, ou como atividades sobre as setas (AOA, *activity on*

arrow), onde as setas representam as atividades (A_{ij}) e os nós são os eventos (E_j) que expressam seu início e término. A Figura 5 ilustra as duas representações citadas acima.

Figura 5 – Representações para a Rede PERT/CPM.



Fonte: Battesini (2019).

O caminho crítico de um processo pode ser determinado a partir da análise dos tempos das atividades. Para Fitzsimmons e Fitzsimmons (2005) um dos mais importantes aspectos da análise do caminho crítico é a identificação das folgas, uma vez que as atividades com folga zero são críticas e não podem ser atrasadas sem que o projeto também atrase. Para determinar as folgas, primeiramente devem ser identificados os tempos de Início Cedo (IC) e Início Tarde (IT) ou Término Cedo (TC) e Término Tarde (TT). O IC é o tempo mais cedo que uma atividade pode ser iniciada, determinado pela Equação 1. TC é o tempo mais cedo que uma atividade pode ser terminada, determinado pela Equação 2. IT, tempo mais tarde que uma atividade pode ser iniciada, determinado pela Equação 3. Por fim, TT é o tempo mais tarde que uma atividade pode ser terminada, determinado a partir da Equação 4. Os tempos mais cedo são calculados da frente para trás e os tempos mais tarde de trás para frente.

$$IC_i = TC_{\text{predecessor}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$TC_i = IC_i + t_i \quad \text{Equação (2)}$$

$$IT_i = TT_i - t_i \quad \text{Equação (3)}$$

$$TT_i = IT_{\text{sucessor}} \quad \text{Equação (4)}$$

As folgas das atividades podem ser calculadas de duas formas: pela diferença entre IC e IT, Equação 5 ou pela diferença de TC e TT, Equação 6. As atividades do caminho crítico irão possuir folga nula, pois se essas atividades atrasarem, irá atrasar toda a entrega do projeto (BATTESINI, 2019).

$$F_i = IT_i - IC_i \quad \text{Equação (5)}$$

$$F_i = TT_i - TC_i \quad \text{Equação (6)}$$

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi subdividida em três seções. Primeiramente, apresenta-se os aspectos metodológicos, seguido pela segunda seção, apontando o cenário de pesquisa e por fim, a terceira seção, a qual apresenta as etapas necessárias para alcançar o objetivo deste estudo.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

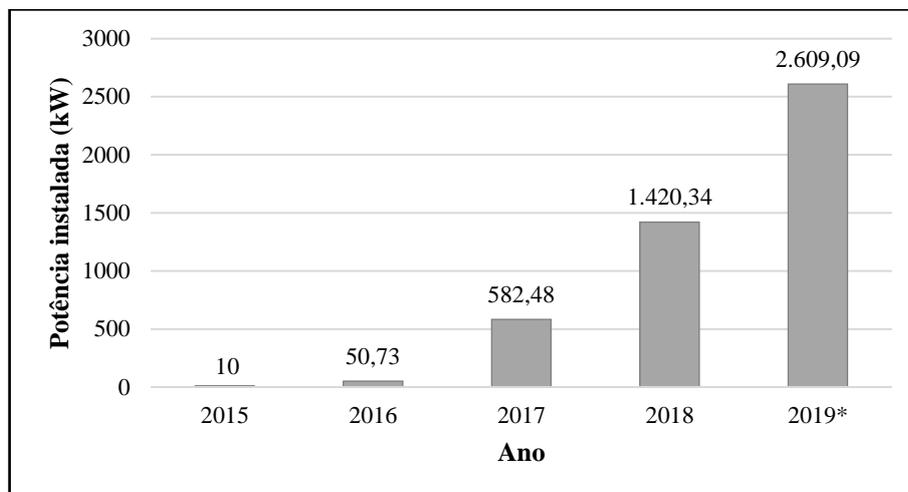
Esta pesquisa é considerada de natureza aplicada, pois segundo Prodanov e Freitas (2013) em pesquisas de natureza aplicada, procura-se produzir conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas. Quanto aos seus objetivos, é caracterizada como explicativa. Ainda conforme Prodanov e Freitas (2013) este tipo de pesquisa procura explicar os porquês e causas, por meio do registro, análise e interpretação dos fenômenos observados.

Com relação a abordagem, é considerada combinada, pois conforme definido por Freitas et al. (2000), denomina-se abordagem combinada quando a coleta de dados é feita de forma quantitativa e qualitativa. Além disso, a pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso. Segundo Boaventura (2004), o estudo de caso é considerado como uma pesquisa aplicada, na qual se busca a aplicação prática de conhecimentos para a solução de problemas.

3.2 CENÁRIO

Este estudo de caso foi desenvolvido na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul. Atualmente, o Rio Grande do Sul possui 17.057 instalações, o que corresponde a 204.049,08 kW de potência (ANEEL, 2019). Já o município de Santa Maria, possui 457 instalações, sendo 4.672,64 kW de potência. Dentre as 457 instalações em Santa Maria, 324 são da classe residencial, 108 da classe comercial, 14 da classe industrial, e 11 da classe rural. A Figura 6 ilustra o crescimento da potência instalada de MMGD em Santa Maria do ano de 2015 até o mês de outubro de 2019.

Figura 6 – Potência instalada por ano na cidade de Santa Maria.



Fonte: ANEEL (2019).

Este estudo de caso foi desenvolvido em um projeto de instalação de MMGD de energia fotovoltaica de uma empresa integradora da cidade de Santa Maria – RS. A empresa foi fundada no ano de 2005 na cidade de Santa Maria e atualmente conta com 158 funcionários. O projeto escolhido, ilustrado na Figura 7, está localizado na cidade de Santa Maria e faz parte de uma fazenda solar de minigeração distribuída. A usina fotovoltaica é instalada no solo, possui 990 módulos de 360W cada, totalizando em 356 kWp e 10 inversores de 27kW e 1 inversor de 20kW, totalizando em 290kW. Estima-se que a usina produzirá 551.628,9 kWh por ano, gerando R\$ 402.689,10 anualmente.

Figura 7 – Projeto de aplicação do estudo de caso.

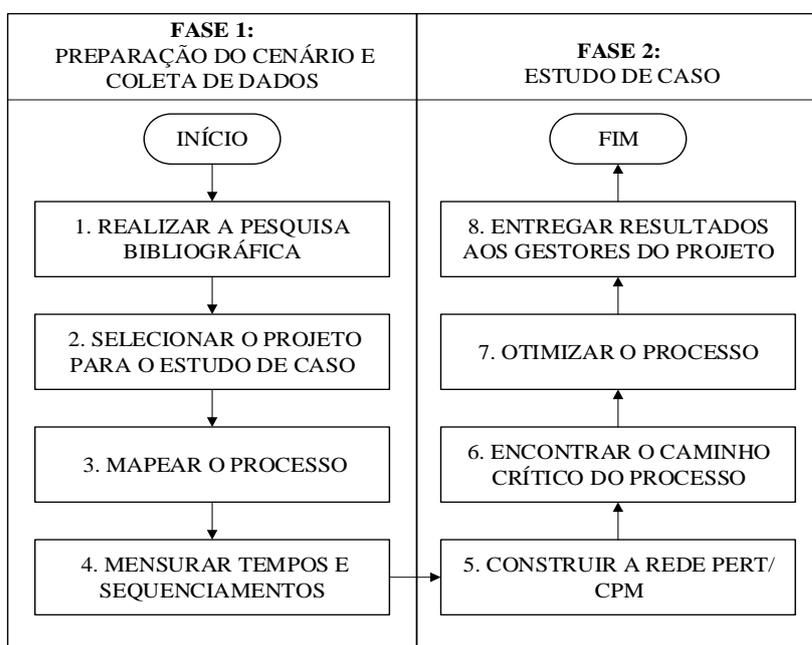


Fonte: Empresa (2019).

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Os procedimentos metodológicos para condução dessa pesquisa foram subdivididos em duas fases. A primeira refere-se à preparação do cenário e coleta de dados, possuindo quatro etapas para a execução e a segunda, compreende o estudo de caso, com mais quatro etapas para a execução. Esses procedimentos estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 – Procedimentos metodológicos.



Fonte: Autora (2019).

O início da pesquisa aconteceu com a realização da pesquisa bibliográfica (etapa 1), realizada a partir da consulta a fontes secundárias, como artigos científicos, livros, normas regulamentadoras e relatórios, que teve por objetivo uma melhor compreensão do cenário de estudo e das ferramentas a serem aplicadas. A partir disso, requisitos para a seleção do estudo de caso foram construídos. Então, por meio do contato com as empresas integradoras de energia fotovoltaica da cidade de Santa Maria, a etapa 2 foi realizada para obter informações sobre os projetos que se encaixavam ao estudo e selecionar o estudo de caso. Em sequência, foi feito um acompanhamento ao processo de execução da montagem de uma usina de energia fotovoltaica e a partir disso realizou-se o mapeamento do processo, correspondente a etapa 3. Ao finalizar

o mapeamento, foi feita uma análise e mensuração dos tempos e sequenciamentos da execução do projeto, findando a Fase 1 do estudo com a etapa 4.

A Fase 2 iniciou com o desenvolvimento da etapa 5. Essa etapa teve como objetivo modelar o processo de construção de uma usina fotovoltaica com o sequenciamento e tempo de execução em uma rede PERT/CPM. Para apoio a estrutura da rede, foi desenvolvido o Gráfico de Gantt. A partir da rede pode-se encontrar o caminho crítico do processo (etapa 6). Sequencialmente, a etapa 7 conduziu o processo de otimização. Para realizar a otimização, foram analisadas situações encontradas durante o processo de construção da obra analisada. Essas análises tiveram como objetivo formular um modelo padrão de processo de construção. Por fim, os resultados dessa pesquisa serão entregues aos gestores do projeto do estudo de caso da empresa integradora participante da pesquisa.

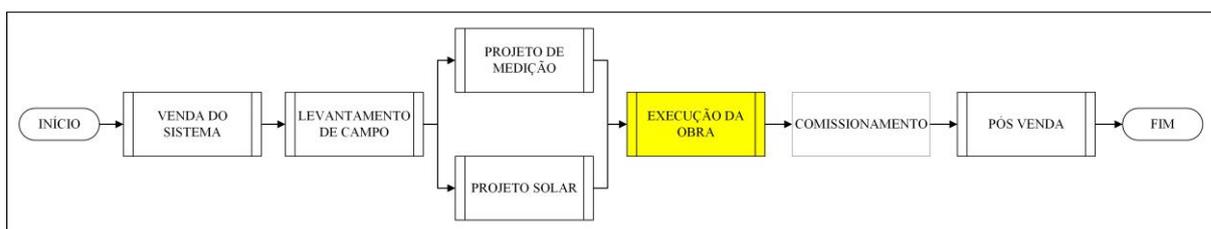
4 RESULTADOS

Esta seção tem por objetivo apresentar os resultados obtidos durante a aplicação do estudo de caso e está dividida em três subseções. A primeira seção apresenta o mapeamento do processo de construção de usinas fotovoltaicas realizado na empresa. A segunda apresenta a análise da situação atual, utilizando a metodologia da rede PERT/CPM. A terceira seção é destinada a otimização do processo em questão.

4.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO

O processo de construção de usinas de energia fotovoltaica analisado possui sete macroetapas. Na Figura 9 é ilustrado o mapeamento setorizado. Os mapeamentos foram construídos a partir da definição de fluxogramas de processos.

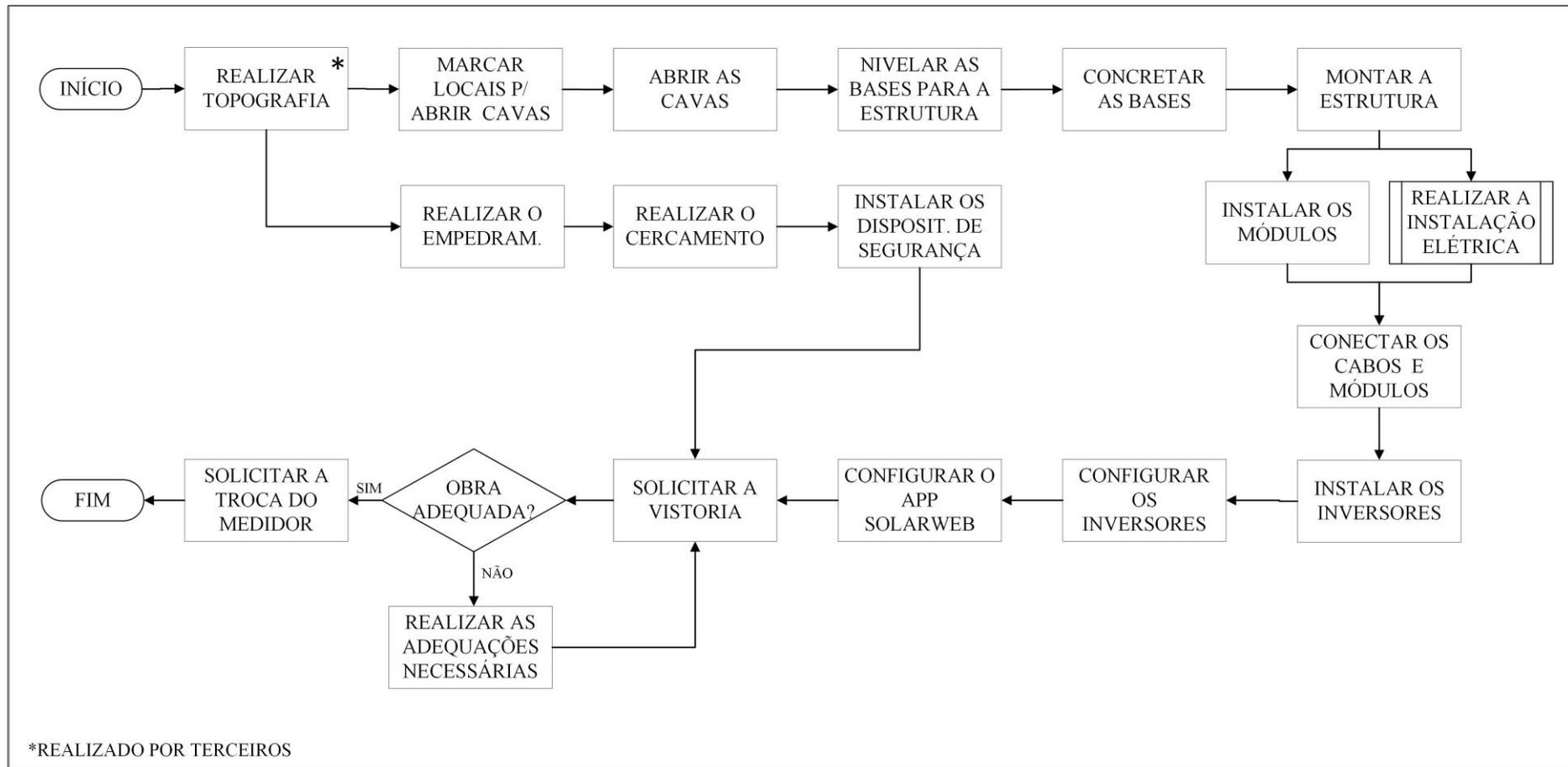
Figura 9 – Macroprocesso setorizado de construção de usinas de energia fotovoltaica.



Fonte: Autora (2019).

O processo tem início com a prospecção de clientes para a venda do sistema, realizado pelo setor comercial. Em seguida, é feito o levantamento de campo, para obter as informações necessárias para a elaborar os projetos. Então, são realizados os dois projetos do empreendimento: projeto de medição e projeto solar. O projeto de medição, realizado no setor de projetos da empresa, tem por finalidade a criar um ponto de conexão com a rede pública, administrada pela concessionária. Já o projeto solar, desenvolvido pelo setor solar, define a disposição dos equipamentos e suas especificações. Finalizados os projetos, dá-se início a execução da obra, etapa na qual foi dado o foco deste trabalho. Com a obra pronta, é realizado o comissionamento, onde a obra concluída é avaliada com base nos projetos realizados anteriormente. Na Figura 10, é ilustrado o processo de execução da obra.

Figura 10 – Mapeamento do processo de execução da obra.



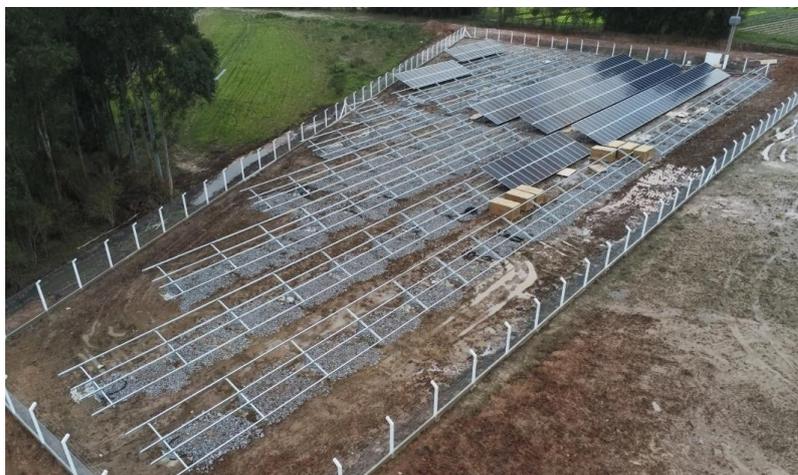
Fonte: Autora (2019).

O processo de execução da obra tem início com a etapa de topografia, realizada exclusivamente por uma empresa terceirizada. Seguidamente, é feita a marcação do local das cavas, definido com base no projeto solar. Com a marcação realizada é feita a abertura das cavas, utilizando um perfurador de solo helicoidal. Então, as bases da estrutura são alocadas nas cavas e realiza-se o nivelamento. Após, é realizada a concretagem das bases, onde deve-se levar em consideração o tempo de cura do concreto, para que seja possível passar para a próximas etapas deste processo.

Na próxima etapa é feita a montagem da estrutura, ilustrada na Figura 11. Com a estrutura devidamente montada, podem ser instalados os módulos e realizar a instalação elétrica. Finalizada as etapas anteriores, é feita a conexão dos cabos e módulos. A partir disso, faz-se a instalação dos inversores e sua devida configuração. A última etapa é a configuração do aplicativo *SolarWeb*, utilizado pela empresa para monitoramento remoto da planta e da sua geração de energia.

Em paralelo o processo tem as atividades de empedramento do terreno, o cercamento e instalação dos dispositivos de segurança. Os dispositivos de segurança instalados na obra são dispositivos de proteção contra sobre corrente e dispositivos de proteção contra surtos (DPS), além disso é realizado o aterramento de todas as estruturas. Com todas as etapas de execução da obra finalizadas, é feita a solicitação de vistoria, a qual é realizada pela concessionária. Se a obra estiver adequada é feita a solicitação da troca do medidor, se não, são feitas as adequações necessárias e solicita-se novamente a vistoria da obra.

Figura 11 – Montagem da estrutura.



Fonte: Empresa (2019).

4.2 SITUAÇÃO ATUAL

Após o desenvolvimento do mapeamento do processo de construção da usina, a próxima etapa deste estudo consistiu em mensurar os tempos e sequenciamentos. No tempo de execução de cada uma das etapas, foi descontado o tempo de preparação e tempo de deslocamento. O tempo de preparação refere-se ao tempo que os funcionários utilizam para organizar as ferramentas e equipamentos necessários para a execução da atividade, considerado 30 min. Já o tempo de deslocamento, refere-se ao tempo que os funcionários utilizam para ir da empresa até a obra, considerado 20 min, pois a distância da empresa até a obra é de cerca de 8 km. O **APÊNDICE A** apresenta a quantidade de preparações e deslocamentos necessários para cada atividade, sendo que a última coluna apresenta o tempo total de preparação e deslocamento.

As atividades são executadas sequencialmente ou paralelamente, por isso, a análise sobre a dependência entre atividades foi realizada. No Quadro 1 constam as dependências das atividades e seu respectivo tempo de execução, mensurado em horas. A execução das atividades depende do clima, sendo que em algumas são possíveis executar em dias chuvosos e outras não.

Quadro 1 – Dependências e tempo de execução das etapas.

	Atividade	Atividade Precedente	Atividade Sucessora	Tempo de Execução (horas)
A	Marcar os locais para a abertura das cavas	-	B	3
B	Abrir as cavas	A	C	13
C	Nivelar as bases para a estrutura	B	D	33
D	Concretar as bases	C	E	31
E	Montar a estrutura	D	F, G, L	13
F	Instalar os módulos	E	H	112
G	Realizar a instalação elétrica	E	H	40
H	Conectar os cabos solares e módulos	F, G	I	3
I	Instalar os inversores	H	J	7
J	Configurar os inversores	I	K	7
K	Configurar o app <i>solarweb</i>	J	O	7
L	Realizar o empedramento	E	O	198
M	Realizar cercamento	-	N	66
N	Instalar os dispositivos de segurança	G,M	O	92
O	Solicitar vistoria	K, L, N	-	0

Fonte: Autora (2019).

Duas atividades não possuem precedentes, A e M, o que significa que podem iniciar ao mesmo tempo e serem executadas paralelamente. Da atividade A até a E, as atividades ocorrem sequencialmente. Quando executada a atividade E, três atividades podem ser executadas paralelamente: F, G e L. Porém, as atividades F e G devem estar finalizadas para a continuação da obra, com a atividade H. A partir atividade H até a K ocorre sequencialmente.

É importante ressaltar que a atividade final que marca a finalização da obra é a solicitação da vistoria (Atividade O). Como essa atividade não faz parte da obra, é utilizada como marco de finalização, em que três atividades a precedem, a K, L e N. As atividades que mais demandam tempo são as atividades de empedramento (L), instalação dos módulos (F) e instalação dos dispositivos de segurança (N). Em contrapartida, algumas atividades podem ser executadas rapidamente, demandando apenas meio dia de trabalho.

A partir das informações obtidas nos Quadros anteriormente apresentados, torna-se possível identificar três parâmetros importantes para a utilização da metodologia da Rede PERT/CPM: tempo de término mais cedo (TC), tempo de término mais tarde (TT) e a folga (F) entre as atividades. O término mais cedo refere-se ao tempo mais cedo que uma atividade pode ser terminada e o término mais tarde é o tempo mais tarde que uma atividade pode ser terminada. As folgas podem ser calculadas pela diferença entre o término cedo e o término tarde, conforme a Equação 6. O Quadro 2 apresenta uma análise dos parâmetros TC, TT e F, para cada uma das atividades do processo de construção, mensurado em horas.

Quadro 2 – Análise de TC, TT e F.

Atividade		t	TC_i	TT_i	F_i
A	Marcar os locais para a abertura das cavas	3	3	3	0
B	Abrir as cavas	13	16	16	0
C	Nivelar as bases para a estrutura	33	49	49	0
D	Concretar as bases	31	80	80	0
E	Montar a estrutura	13	93	93	0
F	Instalar os módulos	112	205	267	62
G	Realizar a instalação elétrica	40	205	267	62
H	Conectar os cabos solares e módulos	3	208	270	62
I	Instalar os inversores	7	215	277	62
J	Configurar os inversores	7	222	284	62
K	Configurar o app <i>solarweb</i>	7	229	291	62
L	Realizar o empedramento	198	291	291	0
M	Realizar cercamento	66	66	174	108
N	Instalar os dispositivos de segurança	92	205	266	61

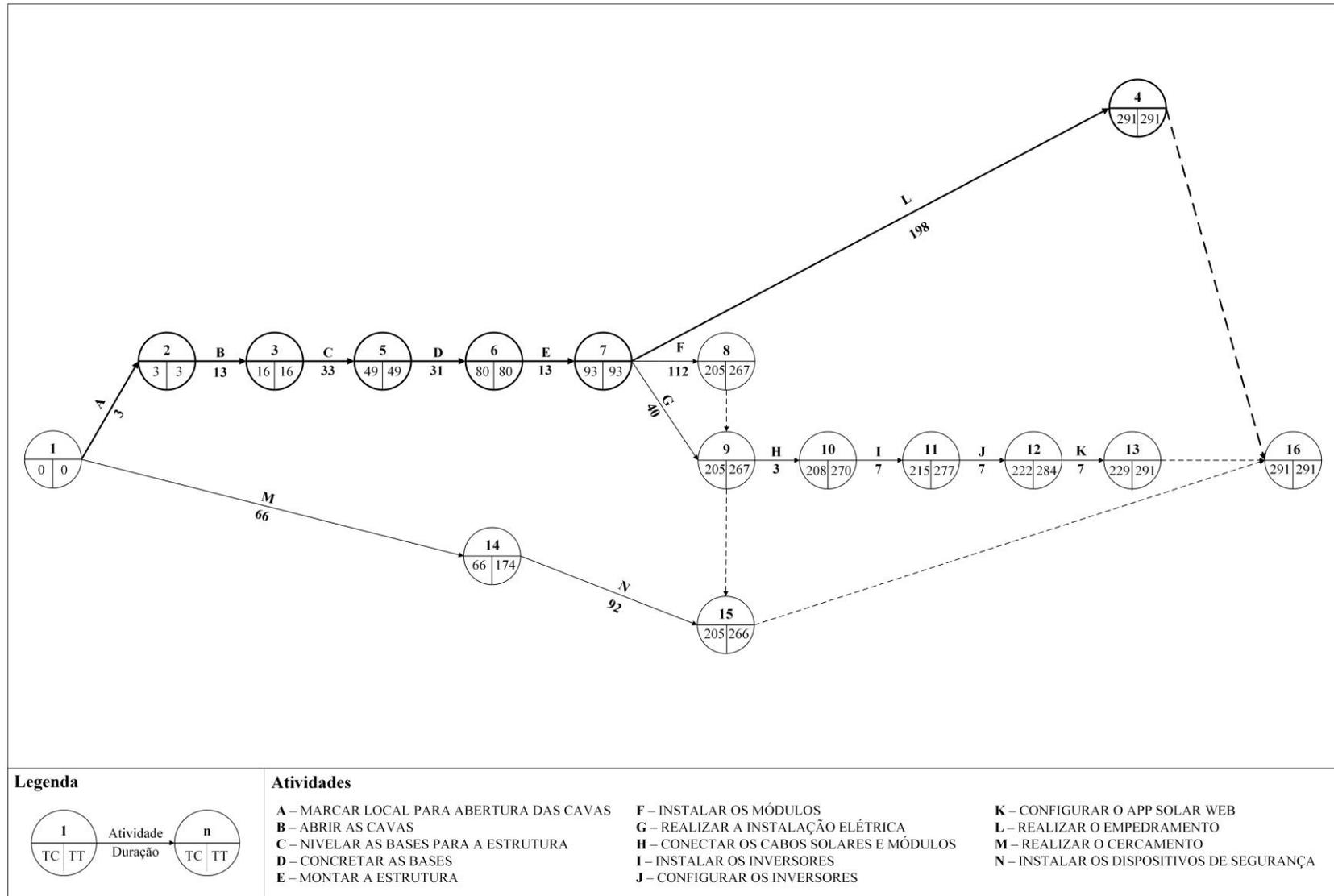
Fonte: Autora (2019).

As atividades do caminho crítico possuem folga nula, ou seja, qualquer atraso nessas atividades pode acarretar um atraso em todo o projeto. Oito atividades do processo possuem folgas de execução: F, G, H, I, J, K, M e N. A Rede PERT/CPM deste processo em questão, Figura 12, foi construída com base na estrutura “atividades sobre setas” e nas dependências, tempos de execução, términos mais cedo e términos mais tarde.

O caminho crítico desse processo é o caminho em destaque na rede, composto pelas atividades: A – B – C – D – E – L. Para a execução das atividades pertencentes ao caminho crítico são necessárias 291 horas de trabalho. A atividade mais duradora do caminho crítico é a atividade de empedramento, a qual dura 198 horas. A atividade de empedramento teve grande demora devido à falta de planejamento e mapeamento do processo, pois se fosse realizada antes da etapa de montagem da estrutura, a atividade poderia ser finalizada em bem menos tempo.

Para finalizar o processo de avaliação do processo atual, foi desenvolvido o Gráfico de Gantt para melhor visualização da execução da obra, que pode ser visualizado no **APÊNDICE B**. Essa ferramenta modela o planejamento de tarefas em um projeto na forma de um gráfico que mostra progresso de um projeto (RÉVEILLAC, 2016).

Figura 12 – Rede PERT/CPM da situação atual do processo de construção de usinas.



Fonte: Autora (2019).

4.3 OTIMIZAÇÃO

Durante o processo de discussão com os colaboradores da empresa que participaram da execução da obra e da percepção de que o sequenciamento de algumas atividades promoveu tempos de execução maiores que os necessários, foram assumidos alguns pressupostos para realizar a otimização do processo, como:

1) realizar a atividade de empedramento antes da montagem da estrutura. Na obra analisada essa etapa foi realizada após a montagem da estrutura, dificultando o processo.

2) propor a criação de um cronograma de compra, para que não haja atraso da obra falta de equipamentos. Foi constatada a falta de módulos para a instalação por três dias uteis.

3) realizar as atividades de instalação e configuração dos inversores em paralelo.

Diante disso, foi realizada uma nova análise dos tempos e sequenciamentos, assumindo as três propostas citadas acima. Quanto aos tempos de preparação e deslocamentos descontados no tempo de execução das atividades foram atualizadas as modificações, apresentado no **APÊNDICE A**. A atividade de empedramento, que durou cerca de 198 horas, quando realizada antes da atividade de montagem da estrutura, passou a durar 13 horas, porque o fato de colocar as pedras antes da montagem das estruturas permite que essas sejam colocadas como auxílio de uma máquina e não por carrinhos de mão, como o ocorrido na situação atual. A atividade de instalação dos módulos, que durou 112 horas, sendo que os funcionários ficaram três dias de trabalho parados devido à falta de módulos, passou a durar 92 horas. A análise das dependências para a situação otimizada está ilustrada no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise de dependências situação otimizada.

(continua)

	Atividade	Atividade Precedente	Atividade Sucessora	Tempo de Execução (horas)
A	Marcar os locais para a abertura das cavas	-	B	3
B	Abrir as cavas	A	C	13
C	Nivelar as bases para a estrutura	B	D	33
D	Concretar as bases	C	L	31
E	Montar a estrutura	L	F, G	13
F	Instalar os módulos	E	H	92
G	Realizar a instalação elétrica	E	H	40
H	Conectar os cabos solares e módulos	F, G	I, J	3
I	Instalar os inversores	H	K	7
J	Configurar os inversores	H	K	7
K	Configurar o app <i>solarweb</i>	J	O	7

Quadro 3 – Análise de dependências situação otimizada.

(continuação)

L	Realizar o empedramento	D	E, M	13
M	Realizar cercamento	L	N	66
N	Instalar os dispositivos de segurança	M	O	92
O	Solicitar vistoria	K, N	-	0

As Atividades A até a D ocorrem sequencialmente, seguido da Atividade L, a qual faz parte da proposta de otimização. A Atividade L possui duas ramificações, as quais acontecem em paralelo: Atividades E e M. A partir da Atividade E, duas atividades acontecem em paralelo, F e G, as quais precedem a Atividade H. Após a atividade H, as atividades I e J acontecem em paralelo e também fazem parte da proposta de otimização, seguidas da Atividade K. A partir da Atividade M, acontece apenas a atividade N. O Quadro 4 ilustra a análise dos parâmetros Término Cedo, Término Tarde e Folga, mensurados em horas.

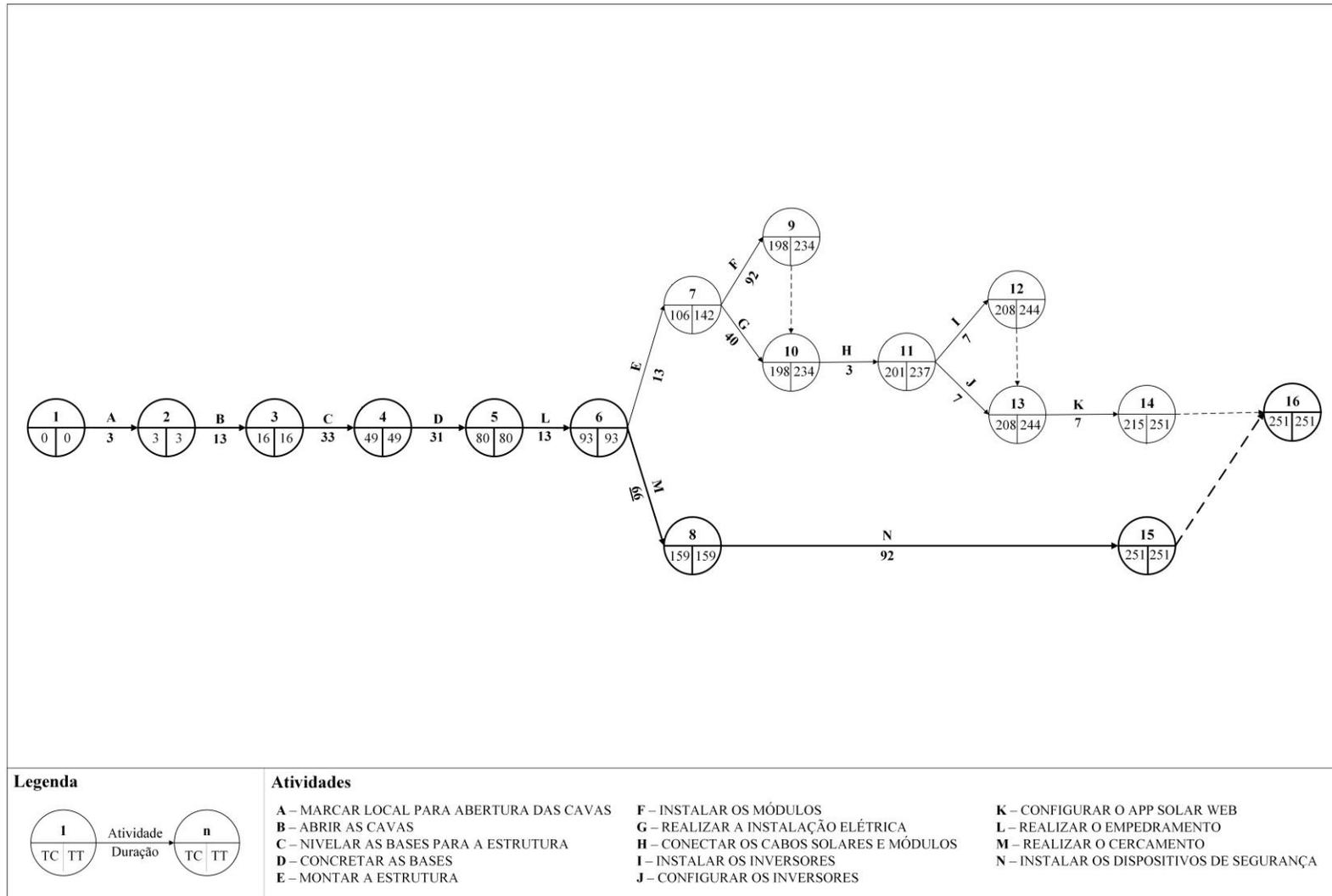
Quadro 4 – Análise de TC, TT e F.

Atividade		t	TC_i	TT_i	F_i
A	Marcar os locais para a abertura das cavas	3	3	3	0
B	Abrir as cavas	13	16	16	0
C	Nivelar as bases para a estrutura	33	49	49	0
D	Concretar as bases	31	80	80	0
E	Montar a estrutura	13	106	142	36
F	Instalar os módulos	92	198	234	36
G	Realizar a instalação elétrica	40	198	234	36
H	Conectar os cabos solares e módulos	3	201	237	36
I	Instalar os inversores	7	208	244	36
J	Configurar os inversores	7	208	244	36
K	Configurar o app <i>solarweb</i>	7	215	251	36
L	Realizar o empedramento	13	93	93	0
M	Realizar cercamento	66	159	159	0
N	Instalar os dispositivos de segurança	92	251	251	0

Fonte: Autora (2019).

O caminho crítico da Rede PERT/CPM otimizada, Figura 13, possui sete Atividades: A – B – C – D – L – M – N. Além disso, as atividades do caminho crítico podem ser concluídas em 251 horas. Sete atividades possuem folga de 36 horas, ou seja, podem atrasar até 36 horas que não atrasarão o término do projeto.

Figura 13 – Rede PERT/CPM otimizada.



Fonte: Autora (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento da pesquisa foi possível analisar uma situação real, realizando o mapeamento de todo o processo de construção de usinas da empresa, desde a prospecção do cliente até a finalização da obra. Além disso, foi possível analisar os processos e discutir acerca de melhorias que visam contribuir para o melhor desempenho dos projetos realizados pela empresa.

A partir do mapeamento das 15 atividades, de A até O, e mensuração dos seus tempos e sequenciamentos, foi possível identificar o caminho crítico do processo. Da situação atual, com caminho crítico de 291 horas, aproximadamente 42 dias uteis, foi possível chegar em uma situação otimizada, com caminho crítico de 251 horas, aproximadamente 36 dias uteis, para o referido estudo de caso, uma usina de 356kW instalados. O caminho crítico otimizado possui sete atividades, com folgas nulas e as demais atividades tem 36 horas de folga. Além disso, vale salientar que um fator crítico para a execução da obra são os dias chuvosos, que fazem com que seja necessário pausar o trabalho na maioria das etapas.

A aplicação do estudo é de grande importância para a empresa, visto que o mercado de energia fotovoltaica está em alta e para suprir as necessidades do mercado, é fundamental que seus processos estejam sendo realizados de forma eficiente. O estudo foi realizado em uma única usina, mas como o processo é padronizado e os tempos mudam conforme o tamanho da usina, as usinas crescem linearmente, e por isso, a rede desenvolvida pode ser utilizada para demais projetos. Além disso, o mapeamento realizado possibilitará aos funcionários maior noção sobre o processo em questão e a rede construída possibilita maior visão quanto ao tempo necessário para a execução do projeto, facilitando na mensuração do tempo estimado para o cliente.

Quanto as limitações encontradas, salienta-se que os processos ainda são imaturos, visto que a obra analisada foi a terceira usina construída pela empresa, então, cada obra traz um aprendizado novo sobre o processo executado. Diante disso, considerando que o tempo de pesquisa percorreu poucos meses e que existem dificuldades ao acesso a informações dentro da empresa, esse trabalho é importante para suporte inicial na reflexão sobre aspectos relacionados a produtividade da construção de usinas fotovoltaicas. Por fim, sugere-se estudos futuros na área de otimização de construção de usinas fotovoltaicas, como a aplicação dessa metodologia em um número maior de usinas para continuar o processo de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 2 mai. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687**, de 24 de novembro de 2015. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2019.

ANEEL. **Geração Distribuída**. 2019. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTl1MjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 2 mai. 2019.

ANEEL. Cadernos temáticos ANEEL: **Micro e Minigeração distribuída**. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 4 mai. 2019.

AZARON, A. et al. A multi-objective resource allocation problem in PERT networks. **European Journal of Operational Research**, v. 172, n. 3, p. 838–854, 2006.

AZEVEDO, T. N.; COSTA, R. S.; SILVA, R. G. A aplicação da etapa P do ciclo PDCA em uma empresa metalúrgica para redução de perdas e aumento da produtividade. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_259_490_35726.pdf. Acesso em: 3 nov. 2019.

BATTESINI, M. **Programação linear** – conceitos, modelagens e soluções no R. 1 ed, Editora UFSM, 2019.

BLASCHKE, T. et al. ‘Energy landscapes’: Meeting energy demands and human aspirations. **Biomass and Bioenergy**, v. 55, p. 3–16, 2013.

BOAVENTURA, E. M. **Metodologia da pesquisa: monografia, dissertação, tese**. São Paulo: Atlas, 2004

BOLZAN, F. A. et al. Utilização da ferramenta service blueprint para mapeamento dos processos de serviços em uma empresa do ramo imobiliário. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_258_486_36147.pdf. Acesso em: 3 nov. 2019.

BONFIM, N. et al. Aplicação dos conceitos de engenharia de métodos: estudo de caso em uma hamburgueria na cidade de Penedo, AL. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_258_479_36261.pdf. Acesso em: 3 nov. 2019.

CAMILO, H. F. et al. Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 712–719, 2017.

CARVALHO, M. M. **Fundamentos em Gestão de Projetos**: construindo competências para gerenciar projetos. 3 ed, Atlas, 2011.

CHEN, C.-T.; HUANG, S.-F. Applying fuzzy method for measuring criticality in project network. **Information Sciences**, v. 177, n. 12, p. 2448–2458, 2007.

DIAS, C. L. A. et al. Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. **Renewable Energy**, v. 114, p. 367–375, 2017.

FERREIRA, A. et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, 181–191, 2018.

FITZSIMMONS, A. J; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de Serviços: Operações, Estratégia e Tecnologia de Informação**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

FREITAS, H. et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração**, v.35, n.3, p.105-112, 2000.

GOTTSCHAMER, L., ZHANG, Q. Interactions of factors impacting implementation and sustainability of renewable energy sourced electricity. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 164–174, 2016.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída**, 1º trimestre de 2019. 2019a. Disponível em: <<http://www.greener.com.br/>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída**. 2019b. Disponível em: <<http://www.greener.com.br/>>. Acesso em: 9 abr. 2019.

IRENA. **Global energy transformation: a roadmap to 2050**. 2018. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050>. Acesso em: 8 abr. 2019.

JUNIOR P. J.; SCUCUGLIA R. **Mapeamento e Gestão por Processos – BPM** (Business Process Management). São Paulo: M. Books, 2011

KABIR, E. et al. Solar energy: Potential and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 894–900, 2018.

LEE, A., KANG, H.-Y., HUANG, T.-T. Project Management Model for Constructing a Renewable Energy Plant. **Procedia Engineering**, v. 174, p. 145-154, 2017.

MISHAKOVA, A., VAKHRUSHKINA, A., MURGUL, V., SAZONOVA, T. Project control based on a mutual application of pert and earned value management methods. **Procedia Engineering**, v. 165, p. 1812-1817, 2016.

MINELLI, A. et al. An open source GIS tool to quantify the visual impact of wind turbines and photovoltaic panels. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 49, p. 70-78, 2014.

MOSIÑO, A. Producing energy in a stochastic environment: Switching from nonrenewable to renewable resources. **Resource and Energy Economics**, v. 34, n. 4, p. 413–430, 2012.

NARAYAN, S.; DOYTCH, N. An investigation of renewable and non-renewable energy consumption and economic growth nexus using industrial and residential energy consumption. **Energy Economics**, v. 68, p. 160–176, 2017.

NETTO, F. S. Gerenciamento de Processos de Negócio – BPM segundo a Gestão Empresarial e a Tecnologia da Informação: uma revisão conceitual. ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO – ANPAD, 33., 2009. **Anais eletrônicos...** São Paulo, Brasil, 2009.

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso do Sistema de Tubarão- SC. **Revista Brasileira de Energia**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 25–45, 2008.

PORTAL SOLAR. **Usina Solar**. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>. Acesso em: 17 jun. 2019

PRODANOV, C. C., FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale. 2013.

REDISKE, G. et al. Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. **International Journal of Energy Research**, 2018.

REN21. **Renewables 2018 Global Status Report**. 2018. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 8 abr. 2019.

RIGO, P. D. **Modelo de diagnóstico para projetos de micro e minigeração distribuída de energia fotovoltaica**. 2019. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

SILVA, M. L., SILVA, M. T. M., TURET, J. Gerenciamento de projetos aplicado em um evento universitário realizado no agreste pernambucano: um estudo comparativo. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_265_523_36072.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

SHTUB, A. Project segmentation—a tool for project management. **International Journal of Project Management**, v. 15, n. 1, p. 15–19, 1997.

VIANA, S. F. A. C. **Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada**. Tese. 2010. Universidade Técnica de Lisboa, [s. l.], 2010. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/70657866.pdf>>

WU S-Y, GUO F-H, XIAO L. A review on the methodology for calculating heat and exergy losses of a conventional solar PV/T system. **International Journal of Green Energy**, v. 12, n. 4, p. 379-397, 2015.

APÊNDICE A – QUADRO DE PREPARAÇÕES E DESLOCAMENTOS

Quadro A.1 – Tempo de preparação e deslocamento das atividades otimizadas.

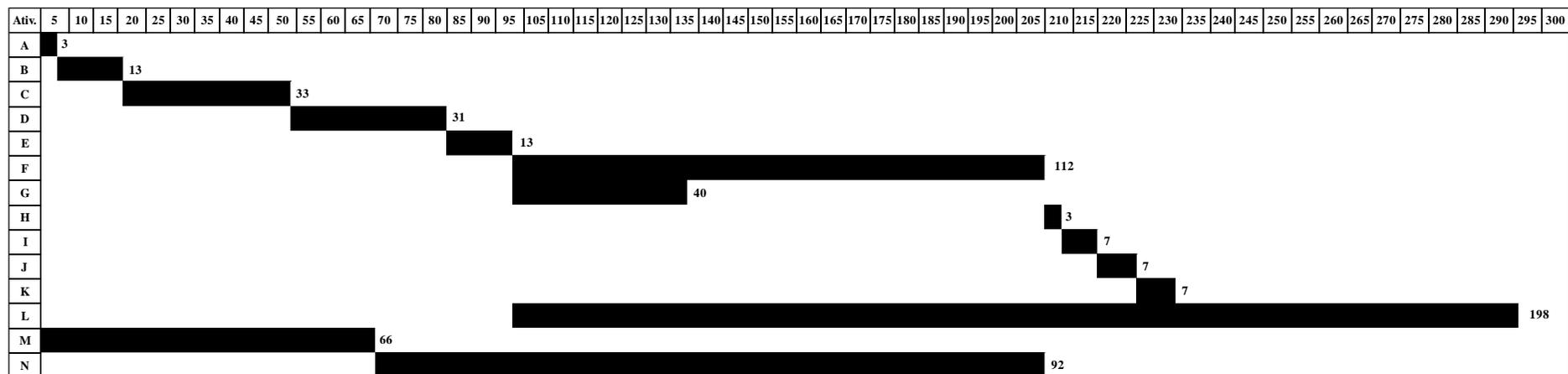
	Atividade	Preparações (Quantidade)	Deslocamentos (Quantidade)	Tempo descontado (min)
A	Marcar os locais para a abertura das cavas	1	2	70
B	Abrir as cavas	4	8	280
C	Nivelar as bases para a estrutura	10	20	700
D	Concretar as bases	4	8	280
E	Montar a estrutura	4	8	280
F	Instalar os módulos	34	68	2.380
G	Realizar a instalação elétrica	12	24	840
H	Conectar os cabos solares e módulos	1	2	70
I	Instalar os inversores	2	4	140
J	Configurar os inversores	2	4	140
K	Configurar o app <i>solarweb</i>	2	4	140
L	Realizar o empedramento	60	120	4.200
M	Realizar cercamento	20	40	1.400
N	Instalar os dispositivos de segurança	28	56	1.960

Quadro A.2 – Tempo de preparação e deslocamento das atividades otimizadas.

	Atividade	Preparações (Quantidade)	Deslocamentos (Quantidade)	Tempo descontado (min)
A	Marcar os locais para a abertura das cavas	1	2	70
B	Abrir as cavas	4	8	280
C	Nivelar as bases para a estrutura	10	20	700
D	Concretar as bases	4	8	280
E	Montar a estrutura	4	8	280
F	Instalar os módulos	28	56	1.960
G	Realizar a instalação elétrica	12	24	840
H	Conectar os cabos solares e módulos	1	2	70
I	Instalar os inversores	2	4	140
J	Configurar os inversores	2	4	140
K	Configurar o app <i>solarweb</i>	2	4	140
L	Realizar o empedramento	4	8	280
M	Realizar cercamento	20	40	1.400
N	Instalar os dispositivos de segurança	28	56	1.960

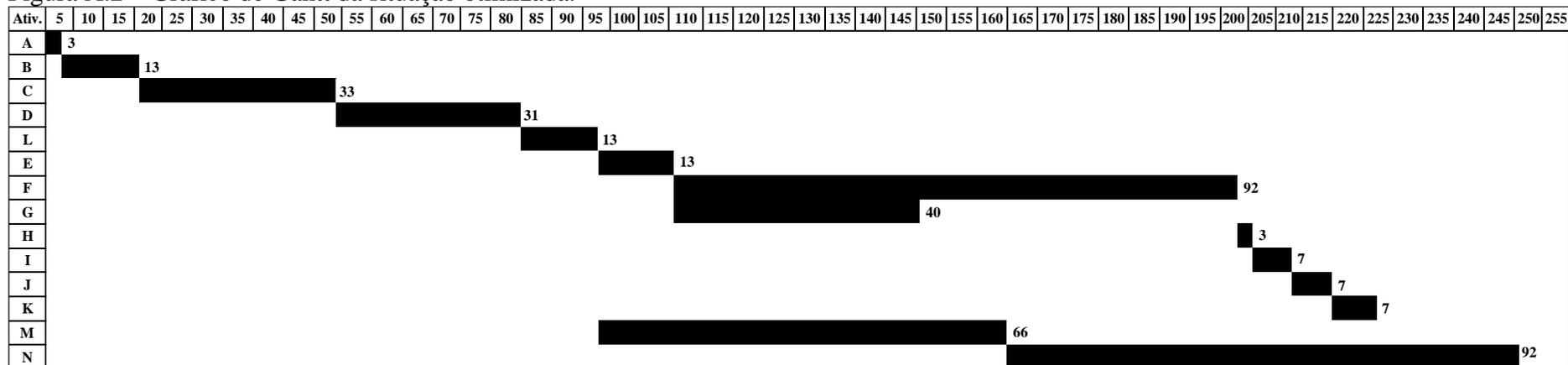
APÊNDICE B – GRÁFICO DE GANTT

Figura A.1 – Gráfico de Gantt da situação atual.*



Fonte: Autora (2019).

Figura A.2 – Gráfico de Gantt da situação otimizada.*



Fonte: Autora (2019).

*O eixo horizontal representa o tempo (de cinco em cinco horas) e o eixo vertical representa as tarefas do projeto.