

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

LUCAS FRANZ DE MATOS

**ANÁLISE DE FATORES INFLUENCIADORES DE PRODUTIVIDADE DA MÃO DE
OBRA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE GERAÇÃO
CENTRALIZADA**

FLORIANÓPOLIS

2022

Lucas Franz de Matos

**ANÁLISE DE FATORES INFLUENCIADORES DE PRODUTIVIDADE DA MÃO DE
OBRA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE GERAÇÃO
CENTRALIZADA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título Engenheiro Civil.

Orientador(a): Profa. Fernanda Marchiori, Dra.

FLORIANÓPOLIS

2022

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

Matos, Lucas Franz de

Análise de fatores influenciadores de produtividade da
mão de obra de uma usina solar fotovoltaica de geração
centralizada / Lucas Franz de Matos ; orientadora,
Fernanda Fernandes Marchiori, 2022.

100 p. p.

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

Inclui referências.

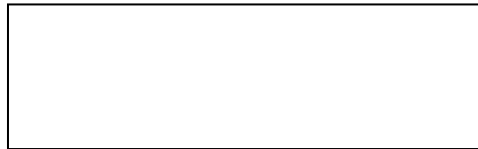
1. Engenharia Civil. 2. Energia Solar Fotovoltaica. 3.
Produtividade. 4. Fator influenciador. 5. Correlação. I.
Marchiori, Fernanda Fernandes. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Lucas Franz de Matos

**ANÁLISE DE FATORES INFLUENCIADORES DE PRODUTIVIDADE DA MÃO DE
OBRA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE GERAÇÃO
CENTRALIZADA**

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

Florianópolis, 12 de dezembro de 2022.



Prof.ª Liane Ramos da Silva, Dr.ª
Coordenadora do Curso

Banca examinadora



Prof.ª Fernanda Marchiori, Dr.ª
Orientadora

Prof.ª Cristine do Nascimento Mutti, Dr.ª
Avaliadora

Romênia Aquino de Freitas, Eng.ª
Avaliadora

Denis Bertazzo Watashi, MSc.
Avaliador

FLORIANÓPOLIS, 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Carla e Gerson, por todo o amor e suporte, e por sempre acreditarem em meu potencial, tanto antes quanto durante o período da graduação.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por todas as portas abertas e experiências proporcionadas.

À professora Fernanda Fernandes Marchiori, pelo apoio na elaboração desse trabalho.

À todas as amigas construídas durante esses anos e que durarão muitos mais, que tornaram essa experiência mais leve.

"I do not know what I may appear to the world; but to myself I seem to have been only like a boy playing on the seashore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me."

Isaac Newton

RESUMO

O interior do semiárido brasileiro apresenta um potencial de geração de energia solar fotovoltaica expressivo. Lá se concentram as maiores usinas de geração centralizada do país, que estão em rápida disseminação: com as primeiras unidades finalizadas em 2017, essas já representam 3% do total da matriz elétrica nacional no ano de 2022. Contudo, a literatura relativa à execução desse tipo de obra ainda é escassa, principalmente quando se buscam estudos relacionando à produtividade dos serviços de obras envolvidos na construção dessas usinas, bem como dos fatores que influenciam na sua eficiência. Também verifica-se a defasagem do setor da construção civil na utilização de soluções tecnológicas para uma melhor tomada de decisão, tão necessárias para a consolidação de um promissor subsetor. Sendo assim, foi proposta a análise da influência de determinados fatores na produtividade da mão de obra dos serviços de montagem mecânica uma usina fotovoltaica de geração centralizada. Para tal, foi elaborado um algoritmo em linguagem Python que retorna o coeficiente de correlação de determinados fatores com a produtividade da mão de obra (RUP) das atividades da EAP do projeto. Como fontes de dados para a elaboração do estudo foram utilizadas as apropriações de campo de uma usina localizada no interior do estado do Piauí e bases climáticas públicos. Foram enfrentadas dificuldades quanto a informação disponível para os dados de produção e as diferentes estruturas de EAP utilizadas na gestão do projeto. Os resultados obtidos denotam influência do tamanho das equipes e dias da semana na produtividade; constatam o bom planejamento em relação à redução de percentuais de horas improdutivoas climáticas e de produção; a importância da consideração de uma insolação elevada durante a construção; apontam falhas na estrutura de coleta e análise da obra.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; fator influenciador; produtividade.

ABSTRACT

The interior of the Brazilian semiarid region has an expressive potential for generating photovoltaic solar energy. There is where the largest centralized generation plants in the country are located. These plants are rapidly spreading: with the first units completed in 2017, they already represent 3% of the total national electricity matrix in the year 2022. However, the literature on the conduction of this type of work is still scarce, especially when looking for studies relating the productivity of the work services involved in the construction of these plants, as well as the factors that influence their efficiency. There is also a gap in the civil construction sector regarding the use of technological solutions for better decision-making, which is necessary for the consolidation of a promising subsector. Therefore, it was proposed to analyze the influence of certain factors on the productivity of labor in mechanical assembly services of a centralized generation photovoltaic plant. To achieve this, an algorithm was developed in Python programming language that returns the correlation coefficient of certain factors with the labor productivity of the project's activities. As data sources for the elaboration of the study, field appropriations of a plant located in the interior of the state of Piauí and public climatic bases were used. Difficulties were faced regarding the information available for production data and the different structures of the activities used in project management. The results denote the influence of the crew size and the days of the week on productivity; the well-done planning to reduce the percentages of climate and production related unproductivity; the importance of considering high insolation during construction; point out failures in the collection and analysis structure of the working site.

Keywords: photovoltaic solar energy; influencing factor; productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variação média do preço do módulo fotovoltaico (USD/MWh).....	17
Figura 2: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil (Potência Instalada (MW) x ano) .	18
Figura 3: Componentes de uma célula fotovoltaica típica	23
Figura 4: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual no Brasil (kWh/kWp.ano) e distribuição da população brasileira nas cidades (habitantes)	24
Figura 5: Diferentes abrangências quanto à mão de obra contemplada	26
Figura 6: Diagrama de impacto do acompanhamento de produção	27
Figura 7: Fluxograma metodológico do trabalho	37
Figura 8: Localização do município de Caldeirão Grande do Piauí-PI.....	39
Figura 9: Subdivisões da planta em parques	39
Figura 10: Esquema da estrutura de suporte (<i>trackers</i>) de módulos instalada	41
Figura 11: Esquema da estrutura do <i>trackers</i> indicando a estaca, gravata, sela e <i>main-beam</i> .	42
Figura 12: Esquema da estrutura do <i>trackers</i> indicando a estaca, atuador, cabeça de estaca e módulo FV	42
Figura 13: Macroáreas de distribuição das estacas.....	44
Figura 14: Bate-estaca realizando a cravação de estaca de fundação.....	45
Figura 15: Esquema de localização dos kits pré-montados na estrutura do <i>tracker</i>	46
Figura 16: Montadores realizado a pré-montagem de cabeça de estaca.....	46
Figura 17: Armazenamento das peças pré-montadas	47
Figura 18: Esquema do kit de montagem de cabeças de estaca central (à esquerda) e lateral (à direita).....	47
Figura 19: Montagem de cabeça de estaca	48
Figura 20: Esquema do kit de montagem de selas central (à esquerda) e intermediária (ao centro) e terminal (à direita)	48
Figura 21: Montagem de sela	49
Figura 22: Esquema de posicionamento do atuador em relação à cabeça do <i>tracker</i>	49
Figura 23: Instalação do atuador	50
Figura 24: Operários realizando o içamento de <i>main-beam</i>	50
Figura 25: Esquema de posicionamento do atuador em relação à cabeça do <i>tracker</i>	51
Figura 26: Operários realizando o torque das gravatas	51

Figura 27: Esquema do kit de montagem de suporte de módulos TI (à esquerda) e Tipo C (à direita).....	52
Figura 28: Montadores realizado a instalação do suporte de módulo	52
Figura 29: Posicionamento de um módulo fotovoltaico na estrutura de suporte	53
Figura 30: Posicionamento do módulo sobre a estrutura de suporte.....	53
Figura 31: Parte da UFV com as estruturas de <i>trackers</i> e módulos finalizadas	53
Figura 32 Informações levantadas no processo de apropriação da mão de obra.....	55
Figura 33: Registros de todas as horas apontadas por UA para determinado colaborador no dia 03/06/2022.....	57
Figura 34: Registros de UAs produtivas para determinado colaborador no dia 03/06/2022 ...	58
Figura 35: Todos os registros de uma UA produtiva no dia 03/06/2022	58
Figura 36: Horas improdutivas totais e percentuais para uma UA produtiva no dia 03/06/2022	59
Figura 37 e Figura 38: Localização das estações meteorológicas no Brasil e no Piauí	61
Figura 39: Exemplo de dados exportados.....	61
Figura 40: Resumo dos fatores influenciadores analisados no trabalho.....	63
Figura 41: Exemplo de relatório de Apropriação de Horas Apontadas por Colaborador no formato PDF	65
Figura 42: Exemplo de relatório de Apropriação de Horas Apontadas por Colaborador no formato TXT.....	65
Figura 43: Fluxograma de estruturação do algoritmo	67
Figura 44 e Figura 45: Exemplos de histograma e gráfico de probabilidade normal para dados considerados aderentes	72
Figura 46: Escala gráfica dos resultados obtidos.....	75
Figura 47: Gráficos por atividade: RUP x Horas improdutivas administrativas (%).....	76
Figura 48: Gráficos por atividade: RUP x Tamanho da equipe (colaboradores)	79
Figura 49: Gráficos por atividade: RUP x Dia da Semana.....	83
Figura 50: Número de dias classificados pela quantidade de horas de sol por dia.....	85
Figura 51: Gráficos da produtividade de montagem de módulo por fatores climáticos.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Período total de realização do empreendimento, período de montagem mecânica e período de análise	20
Quadro 2: Pontos de vista de classificação de fatores influenciadores de produção.....	29
Quadro 3: Categorização de fatores influenciadores de produção	30
Quadro 4: Interpretação dos coeficientes de correlação	32
Quadro 5: Categorias de fatores influenciadores de produção analisados no trabalho	35
Quadro 6: EAP das atividades de montagem mecânica da usina	43
Quadro 7: Unidades de Acompanhamento desconsideradas	57
Quadro 8: Classificação das horas improdutivas.....	59
Quadro 9: Campos da Base de Dados Meteorológicos do INMET.....	61
Quadro 10: Fatores influenciadores climáticos	62
Quadro 11: Fatores influenciadores analisados no trabalho	62
Quadro 12: Exemplo de concatenação de campos para formar o campo “ID”	65
Quadro 13: EAP de Avanço Físico	69
Quadro 14: EAP de apropriação da mão de obra	69
Quadro 15: EAP final compatibilizada.....	70
Quadro 16: Tamanho de equipe ótimo em relação à RUP mediana obtida, por atividade.....	81
Quadro 17: Quantidade de registros por dia da semana para cada atividade da EAP	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de subcampos e potência instalada da usina por parque (MWp)	40
Tabela 2: Quantitativos dos principais itens do empreendimento	40
Tabela 3: Quantidade de atividades, registros e fatores influenciadores em cada etapa do refinamento de dados.....	73
Tabela 4: EAP final compatibilizada.....	74
Tabela 5: RUP mediana por dia da semana para cada atividade da EAP.....	81
Tabela 6: Resultados das correlações de fatores climáticos	85
Tabela 7: Dias de chuva por mês analisado.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
CE	Central Eólica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CSV	<i>Comma-separated values</i>
DDS	Diálogo Diário de Segurança
EAP	Estrutura analítica do projeto
EPC	<i>Engineering, Procurement and Construction</i>
ESG	<i>Environment, Social and Governance</i>
FV	Fotovoltaico
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
Hh	Homem-hora
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQR	Interquartil
KPI	Key Performance Indicator
LT	Linha de Transmissão
MO	Mão de obra
MT	Média Tensão
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
Qs	Quantidade de serviço
QSMS	Qualidade, Segurança, Meio-Ambiente e Saúde
RDC	Relatório Diário de Campo
RDO	Relatório Diário de Obra
RMT	Rede de Média Tensão
RUP	Razão Unitária de Produção
SIN	Sistema Interligado Nacional
UA	Unidade de Acompanhamento
UFV	Usina Fotovoltaica

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>Li</i>	Limite inferior
<i>Ls</i>	Limite superior
Q1	Quartil inferior
Q2	Mediana
Q3	Quartil superior

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos.....	19
1.3	DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	22
2.2	PRODUTIVIDADE DA MÃO DE OBRA.....	24
2.2.1	Conceituação e medição da produtividade	24
2.2.2	Fatores influenciadores de produtividade.....	28
2.2.3	Produtividade da mão de obra em UFVs	30
2.3	FUNDAMENTAÇÃO ESTATÍSTICA	31
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	33
3	MÉTODO DE PESQUISA	36
3.1	OBJETO DE PESQUISA.....	37
3.1.1	Descrição da empresa.....	37
3.1.2	Descrição da obra	38
3.1.3	Processo construtivo de montagem mecânica.....	40
3.1.3.1	Fundação de <i>tracker</i>	43
3.1.3.2	Montagem de <i>tracker</i>	45
3.1.3.3	Montagem de módulo.....	52
3.2	COLETA DE DADOS	54
3.2.1	Dados de mão de obra	54
3.2.2	Dados de produção	55
3.2.3	Fatores influenciadores	56
3.2.3.1	Gerenciamento.....	56
3.2.3.2	Climático	60
3.2.3.3	Resumo	62
3.3	MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS	64
3.3.1	Estruturação dos dados brutos	64

3.3.2	Compatibilização das EAPs das bases de dados.....	67
3.3.3	Aderência dos dados.....	71
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	73
4.1	CONSIDERAÇÕES E RESULTADOS GERAIS	73
4.2	FATORES INFLUENCIADORES	75
4.2.1	Gerenciamento.....	75
4.2.1.1	Horas improdutivas administrativas.....	75
4.2.1.2	Horas improdutivas climáticas e de produção.....	78
4.2.1.3	Tamanho da equipe	78
4.2.1.4	Dia da semana	81
4.2.2	Climático	84
4.2.2.1	Insolação.....	85
4.2.2.2	Precipitação	86
4.2.2.3	Temperatura média, temperatura máxima e vento médio	87
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	89
5.1	CONCLUSÕES.....	90
5.1.1	Do modelo de análise e da estruturação dos dados	90
5.1.2	Dos fatores influenciadores propostos.....	91
5.2	SUGESTÕES DE MELHORIA PARA TRABALHOS FUTUROS	92
	REFERÊNCIAS	93
	ANEXO A - GLOSSÁRIO DA EMPRESA	96
	ANEXO B – RUPD E RUPCUM AO LONGO DO TEMPO PARA CADA ATIVIDADE	97

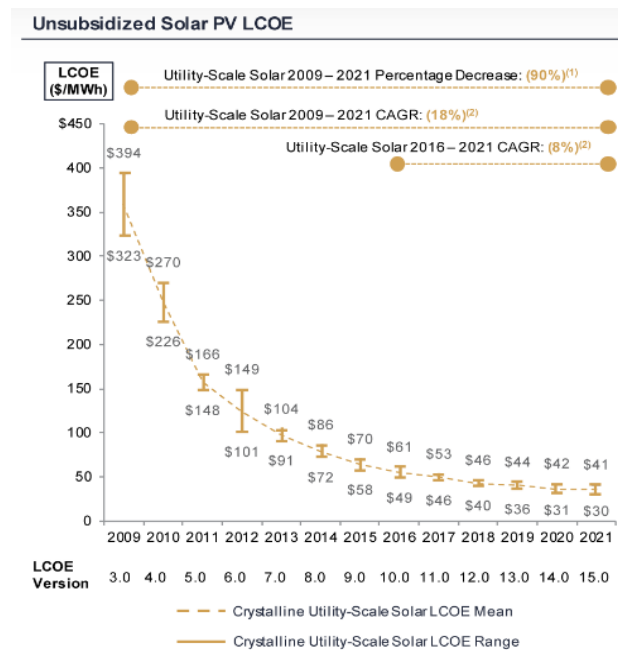
1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O Brasil está em uma posição de destaque no que se refere à uma matriz elétrica renovável. No ano de 2020, o percentual de renovabilidade atingiu seu pico na série histórica brasileira, representando 83,8% do total da matriz elétrica nacional; no mesmo período, a média mundial foi de 27% (EPE, 2022).

É notório que a matriz hidrelétrica seja a maior contribuinte para um resultado tão expressivo: essa constituiu 60,7% de toda a matriz elétrica brasileira em 2021, seu ano mais representativo (EPE, 2022). O tamanho, geografia e abundância de recursos naturais encontrados em solos brasileiros foram fatores essenciais para sua consolidação; entretanto, nota-se sua perda de competitividade na última década. Dentre os novos concorrentes no mercado, a energia solar fotovoltaica (FV) se destaca: como é indicado na Figura 1, desde 2009 esta apresentou uma redução de preço de geração de cerca de 90% (Lazard, 2022).

Figura 1: Variação média do preço do módulo fotovoltaico (USD/MWh)



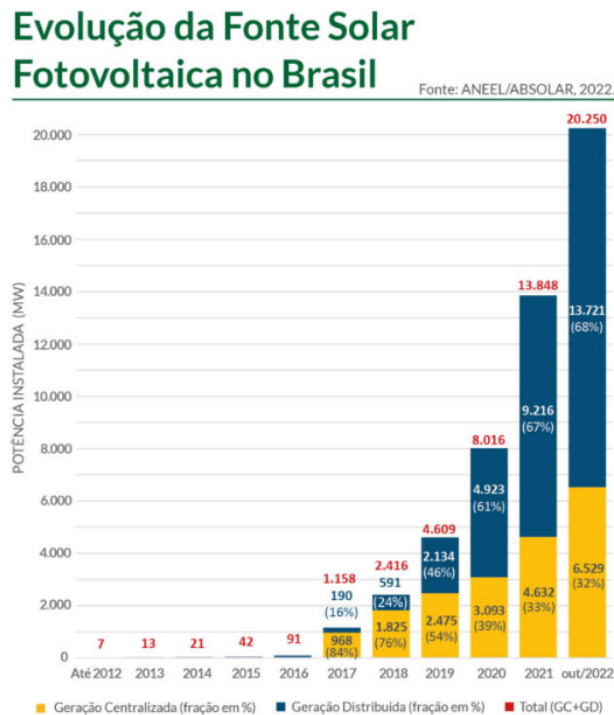
Fonte: Lazard, 2022

Essa redução pode ser explicada pelo aumento na sua demanda, que gerou incrementos logísticos e gerenciais para a cadeia produtiva, resultando em consequente queda no preço de fabricação dos módulos FV. O avanço tecnológico também é percebido nas células fotovoltaicas em si, que tiveram sua eficiência de conversão energética ligeiramente ampliada.

Além disso, deve-se ressaltar que as usinas fotovoltaicas (UFVs) possuem baixo custo operacional e não dependem da utilização de um combustível propriamente dito, ficando alheias a variações cambiais e de demandas de insumos depois de finalizadas. Seu custo está concentrado na construção da usina em si.

Na Figura 2 observa-se que, no Brasil, praticamente inexistente até 2012, a geração de energia solar fotovoltaica começou sua disseminação a partir de 2017, sendo que hoje já soma 20,5 GW de potência instalada, o que representa cerca de 7,8% do total da matriz elétrica nacional (ANEEL/ABSOLAR, 11/2022).

Figura 2: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil (Potência Instalada (MW) x ano)



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022

Para entender essa representatividade, deve-se considerar a evolução prevista para o consumo total de eletricidade: projeta-se que o Brasil, que registrou 540 TWh de consumo em 2020, elevará esse montante para 792 TWh no ano de 2031: um aumento de mais de 46% em 11 anos (EPE, 2022). Essa informação, juntamente com a queda no preço de produção dos

módulos FV; o crescimento na participação da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira; e ainda os constantes avanços de políticas *Environmental, Social and Governance* (ESG) e de conscientização do grande público da importância de investimentos em energia renovável, evidenciam a relevância dessa tecnologia para o futuro da matriz elétrica brasileira.

Frente a esses dados e visto o quão recente é a popularização desta fonte, a documentação sobre a produtividade na construção de UFVs ainda é escassa. Sendo um produto novo, poucas empresas nacionais atualmente participam do mercado de construção de UFVs de geração centralizada (GC). Com o aumento da concorrência há uma tendência de achatamento dos valores dos contratos, e a eficiência operacional da produção passa a ser um diferencial para garantia da rentabilidade dos mesmos.

Sendo assim, analisando dados de produtividade das atividades de montagem mecânica de uma usina fotovoltaica de geração centralizada construída no interior do estado do Piauí, esse trabalho se propõe a apontar o impacto, seja ele muito ou pouco significativo, de determinadas condições para a variação da produtividade das atividades, de modo a fornecer condições para que sejam definidos valores de razão unitária de produção (RUP) realistas, resultando em planejamento aderente e confiável. Isso se dará pela elaboração de um modelo computacional estatístico que retorne o impacto de determinados fatores, compilados via relatórios diário de obra e demais fontes, na produção de mão de obra (MO). Os *outputs* deste modelo serão analisados e validados, indicando o grau da influência de cada uma das variáveis.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto de fatores influenciadores na produtividade da mão de obra das atividades de montagem mecânica em uma usina solar fotovoltaica de geração centralizada.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, foram definidos os subprodutos a seguir:

- a. Estruturar um algoritmo computacional de análise estatística dos dados.

- b. Elencar os fatores que causam significativo impacto ou foram pouco relevantes na variação da produtividade de mão de obra nas atividades de montagem mecânica de uma usina fotovoltaica de geração centralizada.
- c. Fornecer boas práticas para o uso de ferramentas tecnológicas na coleta e análise de registros de produção de mão de obra.

1.3 Delimitação do escopo da pesquisa

A coleta dos dados ocorreu de 4 de abril de 2022 a 30 de setembro de 2022, como é exposto no Quadro 1.

Quadro 1: Período total de realização do empreendimento, período de montagem mecânica e período de análise

	2022												2023		
Total	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar
Montagem mecânica			mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	
Período de coleta				abr	mai	jun	jul	ago	set						

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A defasagem entre o início das atividades de montagem mecânica e o período de coleta, apresentada no Quadro 1, se dá pelo fato de o avanço físico ter iniciado durante a fase de implantação do sistema de compilação das apropriações de mão de obra, finalizado no dia 4 de abril de 2022. A previsão de término das atividades de montagem mecânica da UFV é março de 2023, posterior a data de entrega do estudo; dessa forma, foram utilizados dados coletados pela equipe em obra até o dia 30 de setembro de 2022

O autor não esteve presente na coleta das informações; os valores foram levantados pelo corpo técnico alocado em obra e validados pelo escritório corporativo, sendo compatíveis às medições realizadas. Esses dados foram disponibilizados pela empreiteira responsável por meio de plataforma terceirizada de apontamentos.

Quanto aos fatores influenciadores, não foram avaliados fatores qualitativos, como a composição das equipes, devido à metodologia estatística utilizada. Outros fatores,

quantitativos, como a qualificação da mão de obra e seu bem-estar, foram coletados mas não puderam ser analisados devido à quantidade reduzidas de dados.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho se subdivide em cinco capítulos.

O primeiro capítulo é dedicado à introdução do tema, justificativa da sua escolha, explicitação dos objetivos gerais e específicos do estudo e delimitação do escopo da pesquisa como um todo.

No segundo capítulo será abordada a revisão bibliográfica do tema de estudo, iniciando com uma breve contextualização da energia fotovoltaica como fonte renovável no contexto nacional. Na seção seguinte serão conceituados a produtividade de mão de obra e os fatores influenciadores nesse contexto. Em seguida, se abordará a fundamentação estatística utilizada na análise de dados. Por fim, com base nos conceitos apresentados, serão elencadas as definições adotadas ao longo do estudo.

O terceiro capítulo se inicia com uma descrição da empreiteira de onde os dados foram coletados e da obra em questão, além de apresentação da sequência de atividades de compõem o processo construtivo de montagem mecânica da UFV de GC. Após, será explicitada a metodologia de pesquisa utilizada, detalhando as fontes dos dados e o método de coleta de cada uma. Nesse capítulo também são expostos todos os fatores influenciadores analisados. Por fim, se apresenta a abordagem de análise dos dados compilados.

No quarto capítulo se iniciará com constatações gerais sobre o processo de coleta e tratamento dos dados. Serão apresentados os índices de correlação obtidos para os fatores influenciadores e atividades aos quais essa metodologia foi adequada. Os demais também serão abordados de maneira coerente ao que foi compilado.

Por fim, o quinto capítulo será composto pelas conclusões encontradas com base na análise realizada, apontando os fatores que resultaram em maior ou menor influência na produtividade das atividades. Também serão relatadas boas práticas e sugestões de melhorias para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

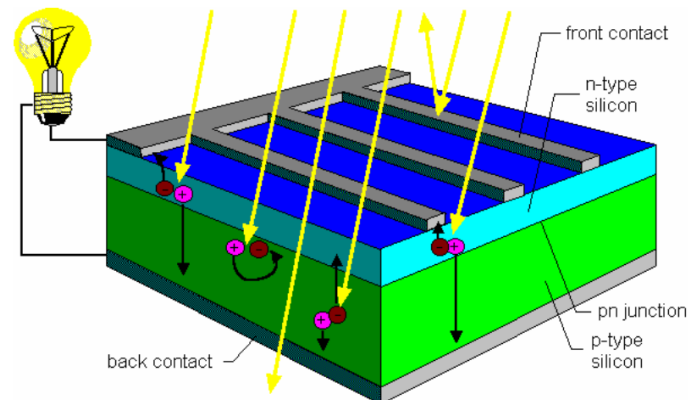
O presente capítulo será subdividido em cinco partes. A primeira será dedicada a caracterizar a energia solar fotovoltaica e contextualizar os conceitos envolvidos na elaboração da tecnologia de painéis FV, assim como apresentar as características de uma usina de geração centralizada no cenário brasileiro. A segunda parte conceituará a produtividade de mão de obra e seus fatores influenciadores, assim como os métodos de medição e análise utilizados, finalizando com o que foi constatado até então pela literatura nesse sentido. A terceira parte conceituará os parâmetros utilizados para a análise estatística dos dados coletados. Por fim, na última seção serão elencadas as definições adotadas ao longo do trabalho.

2.1 Energia solar fotovoltaica

Segundo Imhoff (2007), a energia solar fotovoltaica pode ser definida como a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, por meio de um processo chamado efeito fotovoltaico, que ocorre em um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica. Esse efeito foi observado pela primeira vez no ano de 1839, por Edmond Becquerel, que o descreve como a diferença de potencial resultante em dois extremos de um material semicondutor, quando este absorve luz (PINHO et. al., 2014). Nas células fotovoltaicas atuais, também são adicionadas substâncias dopantes com o intuito de auxiliar a conversão da radiação solar em potência elétrica aproveitável.

Ainda segundo Imhoff (2007), na prática, a célula fotovoltaica atual consiste em duas chapas de silício puro como material semicondutor, enriquecido com boro em uma face (p) e fósforo na outra (n), conforme a Figura 3

Figura 3: Componentes de uma célula fotovoltaica típica



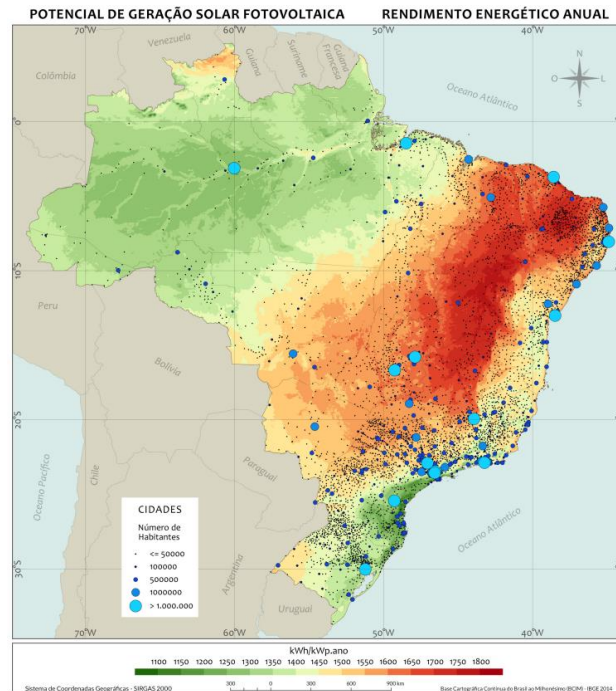
Fonte: ILSE (2002)

Quando estas estão em contato, ocorre um equilíbrio dos elétrons livres do sistema, sendo que o lado *n* fica positivamente carregado, e o lado *p* negativamente carregado, criando um campo elétrico. Quando essa célula, composta pelo conjunto *pn*, é exposta a radiação solar, os fótons fazem com que as cargas desse campo elétrico comecem a se mover, gerando uma diferença de potencial entre os polos, e consequentemente, corrente elétrica. A agregação de diversas células fotovoltaicas forma o componente principal de um sistema de geração de energia solar, chamado de painel fotovoltaico, onde essas são dispostas em série e paralelo nas quantidades necessárias para atender os requisitos de tensão e corrente adequados para as condições do sistema.

Tais sistemas constituídos de painéis fotovoltaicos podem ser subdivididos em duas escalas: de geração distribuída e de geração centralizada (HERNANDEZ et al., 2014). No Brasil, essa segmentação é regida pela resolução normativa nº 482 de 2012 da ANEEL: sistemas de geração distribuída são centrais geradoras de energia elétrica de 75kW até 5 MW de potência instalada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; já os sistemas de geração centralizada são os que excedem os 5 MW de potência instalada.

Devido à disponibilidade da própria fonte da energia, as UFVs de geração centralizada se concentram nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, que possuem os maiores rendimentos médios anuais de geração, conforme é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual no Brasil (kWh/kWp.ano) e distribuição da população brasileira nas cidades (habitantes)



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017

Dentre as regiões citadas, é no interior do semiárido brasileiro onde os maiores projetos de UFVs de geração centralizada estão em desenvolvimento. Contribuem para isso a facilidade na prospecção fundiária, tendo em vista a disponibilidade e custo de terras para implantação, além da existência de sistema de transmissão em alta tensão conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN) com disponibilidade para conexão.

2.2 Produtividade da mão de obra

2.2.1 Conceituação e medição da produtividade

Segundo Souza (2006), produtividade é a eficiência em transformar entradas em saídas num processo produtivo. Ainda segundo Souza (2006), dada a óptica da construção civil, a produtividade pode ser subdividida em física, financeira e social. A produtividade física é aquela analisada quando é considerado como entrada o uso de materiais, equipamentos e mão de obra necessários para a realização de determinado serviço. Assim, a produtividade da mão de obra é a eficiência na alocação de recursos de pessoal em

determinado serviço, tendo como resultado a medição física desse mesmo serviço, apontado depois de determinado período de tempo.

O indicador mais utilizado no meio da construção civil para determinar a produtividade da mão de obra é a razão unitária de produção (RUP). Pode-se mensurar a RUP pela seguinte equação:

$$RUP = \frac{Entradas}{Saídas}$$

Em uma análise prática atribui-se a nomenclatura de homens-hora (Hh) para as entradas, medida em horas (h), resultantes da multiplicação entre a quantidade de operários e as horas individuais apropriada; e quantidade de serviço (Qs) para as saídas, medidas em unidade de medida associada ao serviço ($m, m^2, m^3, und, t, etc.$).

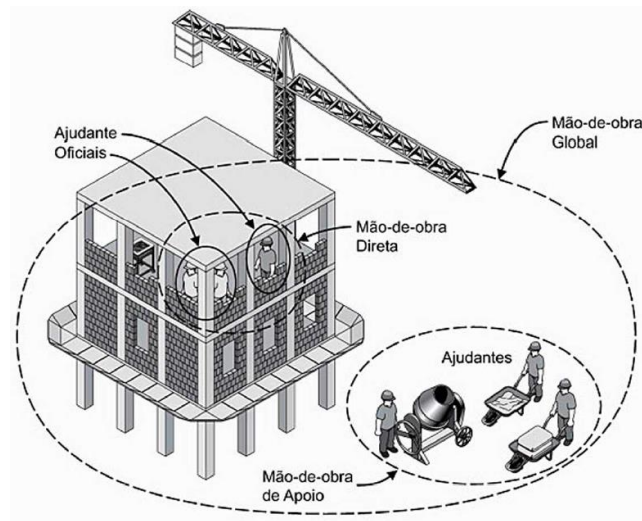
$$RUP = \frac{Hh}{Qs}$$

Ainda segundo Souza (2006), embora a definição de RUP seja bastante clara e objetiva, um dificultador no seu processo de análise é a não padronização de suas variáveis de medição. Então Souza (2006) propõe quatro aspectos a serem padronizados:

- Definição dos colaboradores considerados;
- Quantificação das horas de trabalho;
- Definição e quantificação do serviço apontado;
- Definição do período de tempo referido.

Quanto aos colaboradores considerados, as possibilidades estão expostas na Figura 5, elaborada por Souza (2006).

Figura 5: Diferentes abrangências quanto à mão de obra contemplada



Fonte: Souza, 2006

Conforme apresentado na Figura 5, uma possibilidade é considerar as horas apropriadas apenas para a MO diretamente alocada na frente de serviço, denominada MO direta. Também é possível considerar a MO de apoio no somatório de horas; esta que é essencial para a realização do serviço da MO direta. Sob outra perspectiva, também poderia se considerar a MO indireta, como das áreas de suprimentos, recursos humanos, administrativo e financeiro da empreiteira contratada. Uma última possibilidade seria de somar também as horas alocadas referentes aos líderes das frentes de serviços, que comandam a produção da MO direta.

Quanto à quantificação das horas apontadas, há casos em que se considera o período bruto total de ponto, do horário de início ao de fim de trabalho na frente de serviço; também pode-se optar pelo período total real, descontando os valores de horas auxiliares, essenciais para o andamento da frente, ocorridas no período; ou ainda pode-se descontar as horas improdutivas, que são caracterizadas por falhas logísticas ou de planejamento entre frentes de serviço.

Quanto à definição e quantificação do serviço apontado, pode-se optar pelo montante de serviço bruto que foi realizado; e caso essa metodologia se aplique para o serviço em questão, desconta-se os vazios da medição, o que representaria o serviço líquido¹. Ainda é possível aplicar um multiplicador relativo ao nível de dificuldade apresentado em cada frente

¹ Em certos manuais orçamentários voltados para edificações, por exemplo, recomenda-se não considerar vãos com aberturas inferiores à 4m², considerando-os então como fechados, sendo descontados apenas vãos maiores que estes,

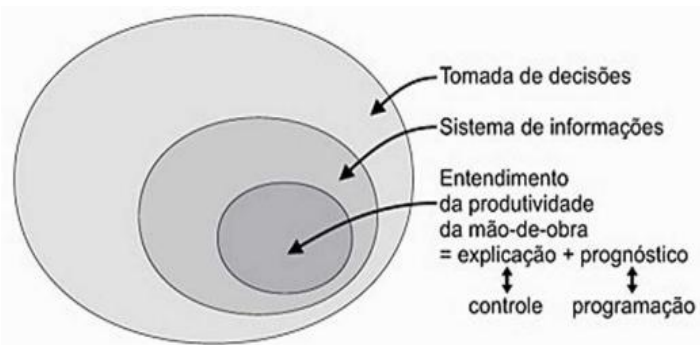
de serviço da obra, como tentativa de se homogeneizar as medições em valores comparáveis entre frentes de serviço de dificuldades variadas.

Por fim, para a definição do período de tempo referido, deve-se adotar o cálculo da RUP de maneira adequada a se retratar a evolução do serviço neste período. Assim, segundo Souza (2006), pode-se acompanhar o valor da RUP em diferentes escalas de tempo:

- **RUP Diária (RUPd):** analisa as entradas e saídas realizadas no período de um dia de trabalho, para um serviço da obra;
- **RUP Cumulativa (RUPcum):** analisa a soma das horas trabalhadas em um período delimitado de tempo e o que foi produzido por essa mão de obra nesse mesmo período, superior a um dia de trabalho;
- **RUP Potencial (RUPpot):** se refere a um valor teórico calculado com base nas tecnologias e técnicas empregadas na realização do serviço, sendo um valor atingível médio e satisfatório da RUP diária. Matematicamente, pode ser calculada como a mediana das RUPd inferiores ao valor da RUPcum ao final do período delimitado.

Dessa forma, percebe-se que a caracterização de cada um desses fatores é essencial para a compreensão do valor de RUP obtido. Isto posto, pode-se inferir que quão mais detalhado é o dado utilizado para o cálculo da RUP, mais assertiva será sua análise ao longo do projeto, tendo palpáveis os critérios a se observar para que esse valor seja otimizado e resulte no cumprimento de metas e prazos propostos, como se verifica na Figura 6.

Figura 6: Diagrama de impacto do acompanhamento de produção



Fonte: Souza, 2006

Soluções tecnológicas e análises computacionais são aliadas fundamentais na modernização no setor da construção civil, que é considerado defasado, frente a outros setores de matriz produtiva, na utilização de técnicas inovadoras para tomada de decisão. Segundo o índice de digitalização da indústria elaborado pela *McKinsey Global Institute*, o setor da

construção tem o segundo pior nível de digitalização entre todos os analisados, sendo superior apenas o da caça e pesca (Agarwal et al., 2016).

Durante o planejamento, a tomada de decisão é frequentemente centralizada em uma pequena equipe de profissionais com maior experiência no escopo do projeto, que pecam pela pouca utilização de soluções tecnológicas como apoio nesse processo. Uma boa prática, adequada para produtos ainda em fase de consolidação, é a consolidação de uma base de dados de produção que seja ferramenta ativa na gestão de conhecimento, através da sinalização de tendências com base no histórico da produtividade dos serviços.

A tomada de decisão com base em dados confiáveis auxilia na elaboração de quantitativos de produção e no dimensionamento das equipes, garantindo uma empreitada aderente ao planejamento, dessa forma evitando custos desnecessários ao projeto.

2.2.2 Fatores influenciadores de produtividade

O acompanhamento detalhado dos fatores que compõem o cálculo da RUP é essencial para que a análise desse *key performance indicator* (KPI) seja aderente ao que efetivamente foi realizado. É evidente que o responsável por tal processo deseje otimizar seu resultado, realizando a maior quantidade de serviço com a menor demanda de insumos possível. Ao se tratar de produtividade de mão de obra, o insumo que está sendo consumido é a soma das horas alocadas para cada um dos operários para que seja concluído determinado pacote de serviços.

Os valores coletados em campo são condensados em uma planilha, que será a base para que se encontrem os valores das RUPs. Visando manter a integridade desse banco de dados, deve-se garantir que a caracterização dos elementos constituintes da RUP sejam constantes durante o período de coleta. Só essa padronização garantirá que variações encontradas no valor da RUP são fruto de fatores externos que realmente fizeram com que a mão de obra produzisse mais ou menos nesse período de tempo, e não de falhas na sua coleta ou na estruturação do banco de dados.

Tendo isso posto, é necessário questionar como otimizar o valor obtido para a RUP. Independentemente da caracterização dos aspectos considerados para análise, existem fatores, sejam externos ao ambiente de obra ou intrínsecos à própria atividade, que tendem a aumentar ou diminuir a quantidade de horas necessárias para finalizar determinada quantidade de serviço.

Segundo o Modelo dos Fatores proposto por Thomas e Yakoumis (1987), se todas as características relativas a um serviço específico que está em execução forem mantidas uniformes, não existirá razão para a variação da produtividade. Essa lógica é aplicável de maneira satisfatória em ambientes controladores de fabricação seriada, como na indústria; porém, em campo, existe uma dificuldade muito maior em se proporcionar um ambiente constante e homogêneo para a produção (SOUZA, 2006). Souza (2006) então propõe três pontos de vista para classificar esses fatores influenciadores, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Pontos de vista de classificação de fatores influenciadores de produção

Pontos de vista de classificação de Fatores Influenciadores
Da obra em estudo
Da comparação da obra com outras obras
Da comparação entre diferentes regiões de localização de conjuntos de obras

Fonte: Souza, 2006 adaptado pelo autor, 2022

Por essa proposta, Souza (2006) subdivide os fatores influenciadores com base na sua proximidade em relação ao dia a dia da produção em si. Estes podem ser da obra em estudo (características do solo variáveis no terreno; distâncias diferentes das frentes de serviço); da comparação entre obras (tipo de material aplicado; técnicas utilizadas); ou entre diferentes regiões de localização de conjuntos de obra (políticas governamentais; qualificação da mão de obra).

Quando é conveniente classificar os fatores com base em sua caracterização, é interessante se observar a proposta de Akbar et al. (2021). Estes compilaram diversos estudos relativos a fatores influenciadores de produtividade de mão de obra, tanto para países desenvolvidos quanto, principalmente, para países em desenvolvimento.

Ainda segundo Akbar et al. (2021), existe uma considerável compatibilidade na categorização que cada autor faz ao compilar seus fatores, o que torna possível a comparação. De qualquer forma, é importante ressaltar que essa classificação foi feita de forma geral, podendo ser decomposta ou aglutinada em mais ou menos membros, conforme adequação para a análise desejada. Além disso, deve-se atentar às particularidades de cada país, que apresentam características próprias quanto a incentivos governamentais, qualidade de material aplicado, equipamentos disponíveis, leis vigentes e a relação patrão-empregado, por exemplo. Dessa forma, Akbar et al. (2021) propõem a categorização dos fatores influenciadores de mão de obra em nove categorias, expostas no Quadro 3.

Quadro 3: Categorização de fatores influenciadores de produção

Categorias de Fatores Influenciadores
Gerenciamento
Materiais
Projetos e Técnicas
Mão de obra
Supervisão
Política e Legislação
Equipamentos
Ambiental
Motivacional

Fonte: Akbar et al.,2021 adaptado pelo autor, 2022

Por razão da diversidade de temas abrangidos pelas categorias, infere-se que os critérios de coleta de dados para cada uma são singulares. A maioria dos trabalhos compilados por Akbar et. al. (2021) se utilizam de questionários aplicados a profissionais do ramo, que elencam os fatores que consideram ser mais ou menos relevantes. Essa metodologia corrobora a contextualização aqui já apresentada da dependência do setor da construção civil em profissionais experientes para a realização do planejamento das obras.

2.2.3 Produtividade da mão de obra em UFVs

Retomando a constatação feita na justificativa deste trabalho, análises sobre a produtividade na construção das UFVs de GC são escassas na literatura. Quanto aos trabalhos já realizados, pode se citar Salvador (2022) que analisou a produtividade da MO nos serviços de fundação, montagem mecânica e infraestrutura de valas na construção de uma UFV. Os resultados obtidos ressaltam a importância da coleta de dados e explicitam a necessidade de aprofundamento na temática dos fatores influenciadores, dando como exemplo a capacitação da MO e definição de composições de equipe padrão. Contudo, a obra analisada se tratava de uma UFV de geração distribuída, de escala muito inferior à analisada neste trabalho.

Schmitt (2021) realizou uma análise de produtividade em uma UFV de GC, porém focando apenas nas atividades do sistema de drenagem da planta. Como resultados, apontou-se a necessidade de alinhamento entre os apropriadores e a sala técnica, evidenciando

novamente a importância da etapa de coleta de dados. Aponta-se como fatores influenciadores as paralizações extraordinárias, principalmente ligadas ao impacto de chuvas, e as horas improdutivas.

Já Rodrigues (2021) analisou o planejamento de atividades complexas na execução de uma UFV de GC. Através de entrevistas com profissionais do ramo, foram elencadas três atividades sensíveis na construção de UFVs: cravação de estacas, montagem dos *trackers* e montagem de módulos. Os resultados demonstram impactos causados por: testes e sondagens insuficientes ou não finalizados antes do início da obra; uso incorreto de ferramentas; dificuldades de deslocamento dentro do empreendimento; atrasos decorrentes de outras atividades predecessoras do caminho crítico; fornecimento de materiais; e relativas aos impactos da pandemia de Covid-19. As atividades elencadas são justamente as abordadas por este trabalho, pertencentes ao caminho crítico da EAP do projeto. Porém, se analisa o cenário de maneira mais abrangente, não contemplando as variações diárias de produtividade.

Assim, fica evidente a necessidade de aprofundamento na temática dos fatores influenciadores de produtividade de mão de obra com uma abordagem estatística.

2.3 Fundamentação estatística

Segundo Edelman et al. (2020), como é muito difícil entender completamente e descrever a dependência entre fatores, muitas vezes é interessante condensar a intensidade dessa dependência em um único número; este número, definido no intervalo $[-1, 1]$ é denominado coeficiente de correlação. Ainda segundo Edelman et al. (2020), o índice mais comumente utilizado é o coeficiente linear de Pearson, que para um par de variáveis (x_i, y_i) , com n observações, de variabilidade finita e positiva, é definido por:

$$\rho_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}$$

Os valores obtidos devem ser analisados quanto ao valor absoluto encontrado para ρ_p e quanto ao sinal deste mesmo ρ_p . A variação do valor absoluto, no intervalo $[0, 1]$ representa a força da correlação linear entre os fatores: quanto mais próximo de 1, mais os valores são correlacionados (sendo 1 uma correlação linear perfeita). Já o sinal representa o

sentido da relação entre essas duas variáveis: um sinal positivo indica que as variáveis variam linearmente no mesmo sentido, enquanto o um sinal negativo significa que as variáveis variam linearmente em sentido oposto.

Já o valor 0 (zero) representa a inexistência de correlação linear entre as variáveis (SOUSA, 2019). Assim, seu resultado é limitado a existência de uma influência linear, o que priva o interpretador da percepção de outras caracterizações de sensibilidade. Outro limitador da utilização da correlação de Pearson é sua sensibilidade a valores muito divergentes da média (*outliers*) (CROUX et. al., 2010), e o fato de que seu resultado é melhor aferido quando os dados computados apresentam distribuição normalizada.

Sendo assim, a análise do coeficiente nos dá como indicativo: se o valor encontrado para ρ_p for elevado, isso indica que as variáveis possuem forte correlação linear: quando uma aumenta, a outra tende a aumentar proporcionalmente (caso o sinal seja positivo) ou diminuir proporcionalmente (caso o sinal seja negativo).

Os fatores influenciadores analisados são representados pelas variáveis independentes (correspondentes a x nas fórmulas de correlação), enquanto a RUP diária é representada pela variável dependente (correspondente a y), visto que se deseja obter uma correlação entre o fator influenciador sobre o valor da RUP.

Para expor os resultados de maneira concisa, interpreta-se determinados intervalos como representando um nível de correlação, de negligenciável à muito forte. Hinkle et. al. (2003) propuseram os intervalos do Quadro 4, com a interpretação associada a cada intervalo.

Quadro 4: Interpretação dos coeficientes de correlação

Correlação	Interpretação
(+/-) .90 a 1.00	Correlação (positiva/negativa) muito forte
(+/-) .70 a .90	Correlação (positiva/negativa) forte
(+/-) .50 a .70	Correlação (positiva/negativa) média
(+/-) .30 a .50	Correlação (positiva/negativa) fraca
(+/-) .00 a .30	Correlação negligenciável

Fonte: Hinkle et. al., 2003 adaptado pelo autor, 2022

2.4 Considerações finais do capítulo

Como exposto ao longo do capítulo, ao realizar uma análise de produtividade, a conceituação dos parâmetros deve ser clara, objetiva e se manter inalterada durante todo o período de coleta. Dentre os conceitos de quantificação de produtividade e de fatores influenciadores estudados, os adotados para este estudo serão expostos a seguir. Para o cálculo da RUP, para os quatro aspectos a serem padronizados segundo Souza (2006):

- **Definição dos colaboradores considerados:** serão somadas as horas alocadas apenas para a mão de obra direta, excluindo deste total os líderes das frentes de serviço. Não serão consideradas as horas da mão de obra de apoio, pois estas foram apropriadas em unidades de acompanhamento² próprias, de acordo com a característica do serviço executado. Também não serão somadas as horas da mão de obra indireta por não serem relevantes para o enfoque deste trabalho.
- **Quantificação das horas de trabalho:** se dará pela soma das horas de todas as unidades de acompanhamento apropriadas para cada operário individualmente. Cada apontamento se refere às horas dedicadas a realização da atividade referida, visto os serviços improdutivos também possuem unidades de acompanhamento próprias.
 - As horas improdutivas também foram somadas em paralelo às horas apropriadas no serviço e consideradas como um índice a ser correlacionado com a produtividade da equipe no dia referente. Todo esse processo está detalhado na seção 3.2.3.1 deste trabalho.
 - Quando o colaborador está ausente do serviço por qualquer razão, seja médica, familiar ou férias, as horas também são apontadas em uma unidade de acompanhamento pré-estabelecida: estas serão ignoradas para a análise, visto o colaborador não estar disponível para o trabalho.
- **Definição e quantificação do serviço apontado:** devido a caracterização do serviços de obra de infraestrutura, não é usual se trabalhar com quantitativos líquidos ou brutos; trabalha-se com o total executado, sem descontos nos quantitativos. Além disso, pela qualidade das informações disponíveis, se optou por não aplicar um nível de dificuldade específico para as diferentes frentes de serviço.

² Unidade de acompanhamento é a denominação utilizada para todas as atividades em que o trabalhador tem suas horas trabalhadas apropriadas, sejam elas relativas a serviços produtivos, improdutivos ou até absentismo.

- **Definição do período de tempo referido:** será adotada a RUP diária em todo o trabalho, com o intuito de proporcionar valores passíveis de comparação, com sensibilidade diária. A RUP cumulativa constará apenas no Anexo B – RUPd e RUPcum ao longo do tempo para cada atividade.

Quanto à compatibilização entre os apontamentos de entradas e saídas, deve-se ressaltar que os dados de apropriação das horas de mão de obra foram coletados com muito mais detalhamento, sendo possível identificar cada frente de serviço. Contudo, os dados de produção foram coletados agregados por parque e subcampo da obra. Dessa forma, foi necessário compatibilizar as duas EAPs de modo a agregar as frentes de serviço atuantes no período para cada parque e subcampo, resultando em uma quantidade menor de registros. Esse processo é descrito na seção 3.3.2.

Em relação à classificação de fatores influenciadores, foram consideradas tanto as categorias compiladas por Akbar et al. (2021), como a abordagem de pontos de vista proposta por Souza (2006). A caracterização do estudo se dá nas variações de produtividade de mão de obra encontradas entre as frentes de serviço, ou entre os dias em que se realizou determinada atividade; a abrangência do estudo se dá em uma só obra, impossibilitando que se analisem fatores influenciadores de contexto. Sendo assim, apenas o primeiro ponto de vista proposto por Souza (2006) pode ser analisado, que considera os fatores da obra em estudo.

Em relação aos demais pontos de vista - quando se deseja comparar fatores variantes entre diferentes obras, ou entre diferentes regiões de localização de conjuntos de obras - por consequência são necessários dados de atividades realizadas em obras variadas. Estes fatores podem ser caracterizados como intrínsecos ao contexto em que a obra está inserida: características da sua localização; políticas da empreiteira responsável ou da empresa dona do empreendimento; políticas ou leis municipais, estaduais e federais do local em que se encontra a obra; especificações técnicas ou de projeto; metodologias ou soluções de engenharia adotadas; dentre outros. Sendo assim, as categorias “Projetos e Técnicas” e “Políticas e Legislação” não foram inclusas na análise, pois não seria possível quantificá-las e compará-las entre frentes de serviço ou dias de realização da atividade.

Por restrição imposta pelos dados disponíveis, optou-se por não analisar as categorias “Equipamentos” e “Materiais”. As classificações “Motivacional”, “Mão de obra” e “Supervisão” foram coletadas, mas a quantidade limitada de registros impediu sua utilização, conforme delimitado na seção 1.3. Quanto à classificação “Ambiental”, foi preferido usar a

denominação “Climático”. Assim, são expostas no Quadro 5 as categorias analisadas no trabalho.

Quadro 5: Categorias de fatores influenciadores de produção analisados no trabalho

Categorias dos fatores influenciadores analisados

Gerenciamento

Climático

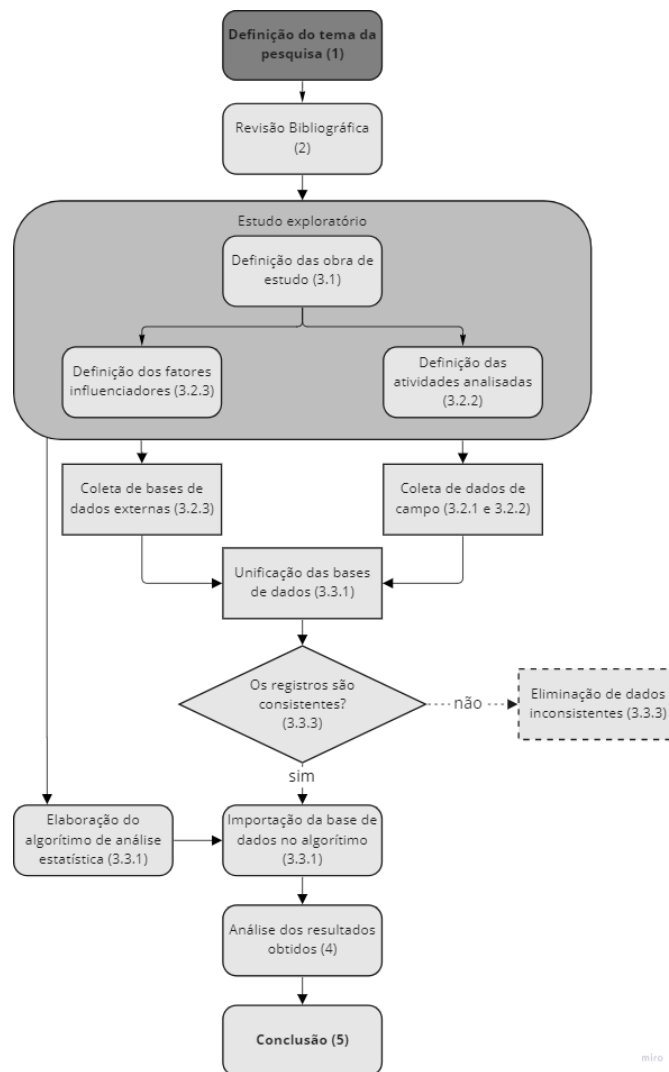
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Descritos os conceitos adotados ao longo do trabalho, pode-se prosseguir com a explicitação do contexto em que a empreiteira responsável e a obra estão inseridas, além da descrição do processo de coleta e estruturação dos dados compilados no algoritmo de análise das correlações entre as produtividades de mão de obra e os fatores influenciadores.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O presente capítulo será dedicado à explicitação do método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho, ilustrado no fluxograma na Figura 7. Primeiramente, a obra em análise será descrita, assim como a empreiteira responsável por esta e as etapas do serviço de montagem mecânica analisadas do empreendimento. Em seguida, serão descritas todas as fontes de dados coletadas para posterior análise, estruturados em tabelas específicas; tanto os elaborados e alimentados pela equipe de obra e pelo autor, quanto os extraídos de fontes externas. Por fim, na etapa de análise de dados, será demonstrado o método de tratamento e estruturação das bases de dados anteriormente definidas, além de contextualização a respeito do procedimento de limpeza da base de dados para a verificação estatística da influência dos fatores de estudo na produtividade da obra.

Figura 7: Fluxograma metodológico do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

3.1 Objeto de pesquisa

3.1.1 Descrição da empresa

A empresa responsável pela obra em estudo é uma empreiteira do ramo de infraestrutura com sede localizada em Florianópolis, Santa Catarina, tendo 40 anos de atuação no mercado. Essa possui histórico em obras de infraestrutura civil de grande porte, nos anos recentes se especializando no sub-ramo de energia renovável. Os produtos oferecidos são:

- Usinas Solares Fotovoltaicas (UFV) de Geração Centralizada (GC);
- Usinas Eólicas, também chamadas Centrais Eólicas (CE);

- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH);
- Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH);
- Sistemas de Transmissão, podendo ser Redes de Média Tensão (RMT) ou Linhas de Transmissão (LT).

A empresa foi responsável pela construção das maiores UFVs atualmente encontradas no país, todas na região Nordeste do Brasil, com destaque especial para os estados da Bahia e Rio Grande do Norte, e em menor escala Piauí e Pernambuco. As usinas eólicas realizadas também se encontram nessa região; já as PCHs e CGHs, produtos mais consolidados e que representam grande parte da carteira de projetos da empresa no setor de infraestrutura de energia renovável, estão localizadas na porção centro-sul do país, principalmente nos estados de Santa Catarina e Paraná.

Quanto aos tipos contratação praticados, estes se dividem em duas modalidades:

- **EPC** (*Engineering, Procurement, Construction*): onde a construtora é responsável pelo planejamento, logística de suprimentos e equipamentos, construção, montagem e comissionamento do empreendimento (mais comum em obras de UFVs);
- **Obras Cíveis**: onde a construtora é responsável pela parte de infraestrutura civil do empreendimento (mais comum em obras de CEs).

Quanto à governança e sustentabilidade, a empresa conta com Sistema Integrado de Gestão autônomo em relação a hierarquia dos projetos, sendo a Gerência de Sustentabilidade certificada nas seguintes normas internacionais:

- ISO 9001:2015 - Sistema de Gestão da Qualidade;
- ISO 14001:2015 - Sistema de Gestão Ambiental;
- ISO 45001:2018 - Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional;
- ISO 37001:2021 - Sistema de Gestão Antissuborno.

3.1.2 Descrição da obra

A obra em estudo está localizada no município de Caldeirão Grande do Piauí, no estado do Piauí, distante 441km da capital Teresina, e que faz divisa com os estados do Ceará e Pernambuco, conforme indicado na Figura 8. A cidade apresenta uma população estimada de 5.786 habitantes, compreendendo uma extensão territorial de 467,083 km² (IBGE, 2021).

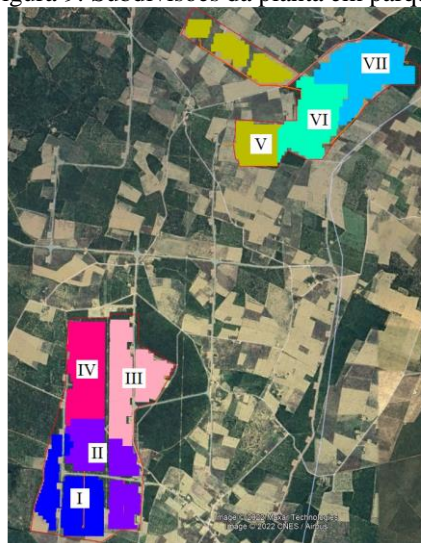
Figura 8: Localização do município de Caldeirão Grande do Piauí-PI



Fonte: Construtora, 2022

O modelo de contratação do projeto é EPC. A UFV em implantação contará com 251,82 MWp de potência instalada, conectada a uma LT de 230 kV. Quanto aos recursos alocados, no momento de pico contou com mais de 900 colaboradores (destes, 80% de MO direta) e mais de 160 equipamentos. Na Figura 9 é mostrado que a planta é subdividida em dois clusters: Norte e Sul, estes contendo 3 e 4 parques, respectivamente. Na Tabela 1 é apresentada a potência instalada em cada parque. Operacionalmente, os parques são divididos em subcampos: os parques IV e V contam com 4 subcampos, e os demais, 5 subcampos.

Figura 9: Subdivisões da planta em parques



Fonte: Construtora, 2022

Tabela 1: Quantidade de subcampos e potência instalada da usina por parque (MWp)

Cluster	Parque	Subcampos (quantidade)	Potência instalada (MWp)
Sul	I	5	36,63
	II	5	36,53
	III	5	36,53
	IV	4	32,47
Norte	V	4	32,53
	VI	5	36,53
	VII	5	40,59
Total	7	33	251,82

Fonte: Construtora, 2022

Os principais quantitativos do projeto podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Quantitativos dos principais itens do empreendimento

Item	Quantitativo	Unidade
Área total do empreendimento	520	hectares
Estacas	88.151	unidades
String-Box	1.054	unidades
Trackers	12.593	unidades
Módulos	390.383	unidades
Cabos de baixa tensão (BT)	411.603	metros
Valas de média tensão (MT)	137.831	metros
Cabos Solares	957.864	metros

Fonte: Construtora, 2022

3.1.3 Processo construtivo de montagem mecânica

Esta seção será dedicada a apresentar as etapas do processo de montagem mecânica da usina solar fotovoltaica de geração centralizada. É importante destacar que o mercado conta com uma série de fabricantes para as peças que serão descritas, divergindo em aspectos técnicos, estruturais e de método de fornecimento: enquanto alguns viabilizam as peças da

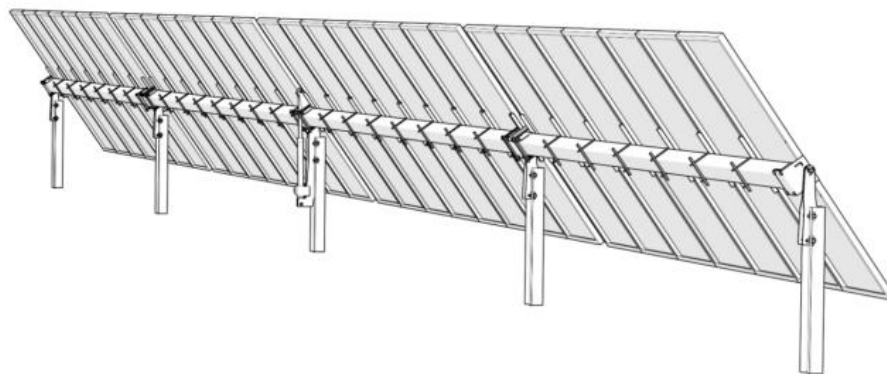
estrutura de suporte separadamente, outros o fazem com a estrutura já pré-montada. No presente estudo, foi encontrada a primeira a situação: peças fornecidas separadamente.

Essas ressalvas são importantes para salientar as singularidades do processo aqui descrito e posteriormente analisado, e isso deve ser levado em consideração para comparar os resultados aqui obtidos com os de outros modelos ou fabricantes.

Tendo isso posto, a etapa de montagem mecânica é a mais característica de todo o processo construtivo. O painel, também chamado de módulo fotovoltaico, deve ser instalado em uma estrutura de suporte conhecida como *tracker* (ou seguidor solar), conforme esquematizado na Figura 10. Este tem como função movimentar os módulos em torno de seu eixo único³ de instalação, de modo com que acompanhem a trajetória do sol ao longo do dia, por rotação no eixo norte-sul. Esse movimento aumenta a incidência de raios solares na face geradora do módulo, aumentando por sua vez sua absorção de radiação solar e a consequente geração de energia.

Os *trackers* são subdivididos em internos e externos: os últimos são mais robustos, pois recebem maior carga devido ao fato de possuírem *tracker* adjacente em apenas uma extremidade, o que reduz a transmissão dos esforços. A estrutura do *tracker* é feita de um tipo de aço patinável conhecido como aço corten, altamente resistente à corrosão. Exposta às intempéries, essa passa a apresentar aparência envelhecida.

Figura 10: Esquema da estrutura de suporte (*trackers*) de módulos instalada



Fonte: Convert, 2022 *apud* Construtora, 2022

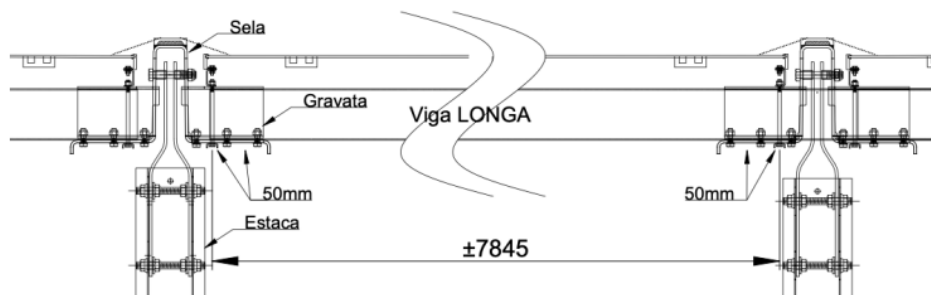
Na montagem, as atividades se iniciam com a cravação de estacas metálicas de aço galvanizado para fundação da estrutura do *tracker*. Tais peças serão responsáveis pela

³ Também existem *trackers* com movimentação biaxial, nos eixos norte-sul e leste-oeste, de estrutura mais complexa e que resultam em maior eficiência do sistema, porém mais onerosos e pouco utilizados no Brasil.

transmissão dos esforços aplicados em toda estrutura para o solo. Com as estacas cravadas, são posicionadas e montadas as peças de suporte que compõem o *tracker* em si, que se subdividem em cabeça, sela e atuador. Outro componente, o *main-beam* (indicado como “Viga Longa” na), eixo central que conecta cada dupla de estacas e transmite o movimento do sistema, é içado e fixado com a instalação das gravatas, e o *tracker* é finalizado com a estrutura de suporte de módulo. Então, o módulo FV é posicionado e fixado. Na Figura 11 e Figura 12 são esquematizadas as peças da estrutura de suporte.

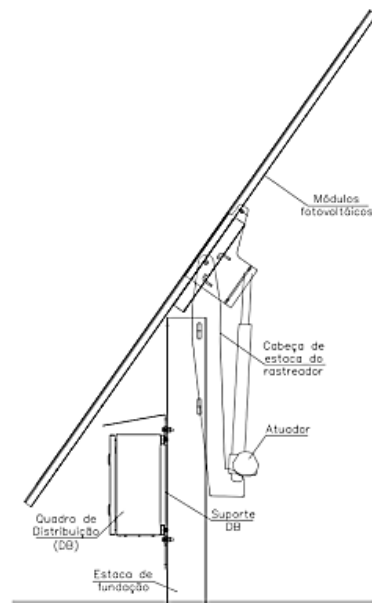
Na obra de estudo, cada *tracker* foi montado sobre 7 estacas, e é responsável pelo suporte e movimentação de 31 módulos fotovoltaicos. Esse conjunto é denominado *string*.

Figura 11: Esquema da estrutura do *trackers* indicando a estaca, gravata, sela e *main-beam*



Fonte: Convert, 2022 apud Construtora, 2022

Figura 12: Esquema da estrutura do *trackers* indicando a estaca, atuador, cabeça de estaca e módulo FV



Fonte: Convert, 2022 apud Construtora, 2022

A construção da estrutura de suporte do módulo FV representa, para a EAP do projeto, a etapa denominada de ‘montagem mecânica’. Para essa, tem-se a abertura em quatro subatividades, ‘fundação de tracker’, ‘pré-montagem de tracker’, ‘montagem de tracker’ e ‘montagem de módulo’, apresentada no Quadro 6.

Quadro 6: EAP das atividades de montagem mecânica da usina

1	MONTAGEM MECÂNICA
1.1	FUNDAÇÃO DE TRACKER
1.1.1	MARCAÇÃO TOPOGRÁFICA
1.1.2	DISTRIBUIÇÃO DE ESTACAS
1.1.3	ALINHAMENTO E MARCAÇÃO
1.1.4	CRAVAÇÃO
1.1.5	VERIFICAÇÕES E INSPEÇÃO
1.2	PRÉ-MONTAGEM DE TRACKER
1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA
1.2.2	PRÉ-MONTAGEM DE SELA
1.2.3	PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO
1.3	MONTAGEM DE TRACKER
1.3.1	INSTALAÇÃO E TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA
1.3.2	INSTALAÇÃO E TORQUE DE SELA
1.3.3	INSTALAÇÃO DE ATUADOR
1.3.4	IÇAMENTO DE <i>MAINBEAM</i>
1.3.5	INSTALAÇÃO E TORQUE DE GRAVATA
1.3.6	INSTALAÇÃO E TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO
1.4	MONTAGEM DE MÓDULO

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Das atividades apresentadas no Quadro 6, as subetapas da fundação de *tracker* ‘marcação topográfica’, ‘distribuição de estacas’, ‘alinhamento e marcação’, ‘verificações e inspeções’ serão descritas para contextualizar o processo construtivo, mas não foram analisadas ao longo do trabalho⁴. Nos itens a seguir, o processo será detalhado e especificado de acordo com as características do *tracker* e módulo utilizados no empreendimento.

3.1.3.1 Fundação de *tracker*

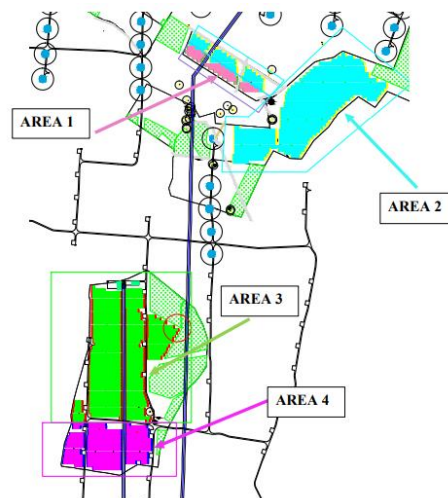
Marcação topográfica: se inicia com a marcação topográfica dos pontos onde serão cravadas as estacas. Piquetes são posicionados em cada ponto especificado no projeto.

Distribuição de estacas: as estacas são movimentadas por carreta prancha do pátio de armazenamento até o setor de cravação. Ao chegar no destino, manipuladores telescópicos

⁴ Isso se deu pelo fato de as citadas não apresentarem dados compilados na planilha de avanço físico, não sendo possível se correlacionar a produtividade aos fatores influenciadores.

descarregam a carga e a distribuem dentro da planta de acordo com a posição e tipo de estaca especificado no projeto, e seguindo as diretrizes do fabricante quanto à disposição. As estacas se subdividem entre relativas a *trackers* internos e externos, sendo estes últimos geralmente de menores dimensões. Além disso, características geológicas de áreas diferentes do local demandam estacas específicas; para esta obra, foram subdivididas 4 macroáreas de distribuição, conforme é esquematizado na Figura 13, com dimensões de estacas próprias, identificadas por uma marcação de cor referente.

Figura 13: Macroáreas de distribuição das estacas



Fonte: Construtora, 2022

Alinhamento e marcação: é utilizado nível laser ou linha de nylon (tracionada e sem interferências) para garantir o alinhamento correto de cada estaca em relação ao terreno. Nesta etapa também são demarcadas, com utilização de pincel ou marcador, a profundidade adequada de cravação em cada estaca.

Cravação: a estaca é posicionada verticalmente com seu centro alinhado ao ponto topográfico demarcado. Sua seção transversal em formato de “U” deve ter a concavidade voltada para o oeste. O bate-estaca, também chamado de cravadora, realiza a cravação, conforme Figura 14.

Figura 14: Bate-estaca realizando a cravação de estaca de fundação



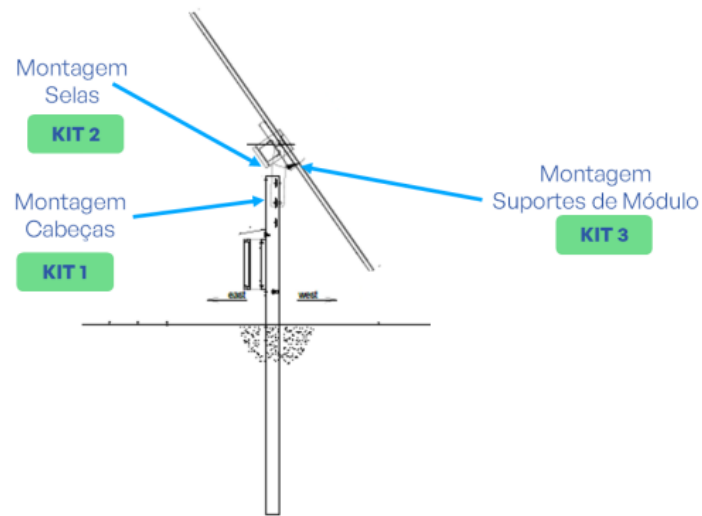
Fonte: Construtora, 2022

Verificações e inspeção: existe uma pequena tolerância de profundidade de cravação, inclinação, torção e posicionamento que é aferida para garantir a qualidade do processo, com a utilização de paquímetro digital, trena laser e inclinômetro. As estacas com alguma irregularidade são identificadas com fita de sinalização. Posteriormente estas serão retiradas do solo e a fundação deve ser realizada por perfuração e concretagem da estaca. Nesses casos, deve-se aguardar pelo menos 48 horas para continuação do processo construtivo.

3.1.3.2 Montagem de *tracker*

Pré-montagem de cabeça de estaca, sela e suporte de módulo: Sendo de responsabilidade da construtora a montagem da estrutura desde as partes mais básicas, optou-se pela estratégia de subdividir as peças em conjuntos agregadores para cada subetapa da montagem, esses chamados de kits, que podem ser montados separadamente e fora da frente de serviço. Esse método logístico visa seriar o processo, poupando tempo do operário em campo, que fica responsável apenas pela fixação da peça. Foram definidos 3 kits, esquematizados na Figura 15: montagem cabeças; montagem selas; e montagem suportes de módulo.

Figura 15: Esquema de localização dos kits pré-montados na estrutura do *tracker*



Fonte: Construtora, 2022

Conforme apresentado na Figura 16, sua montagem é realizada numa área de pré-montagem: um galpão com aberturas nas laterais para que se facilite a entrada de peças e a saída dos kits prontos. Estes são armazenados em caixas específicas para cada partição da estrutura, vide Figura 17, para assim serem transportados para o campo.

Figura 16: Montadores realizando a pré-montagem de cabeça de estaca



Fonte: Construtora, 2022

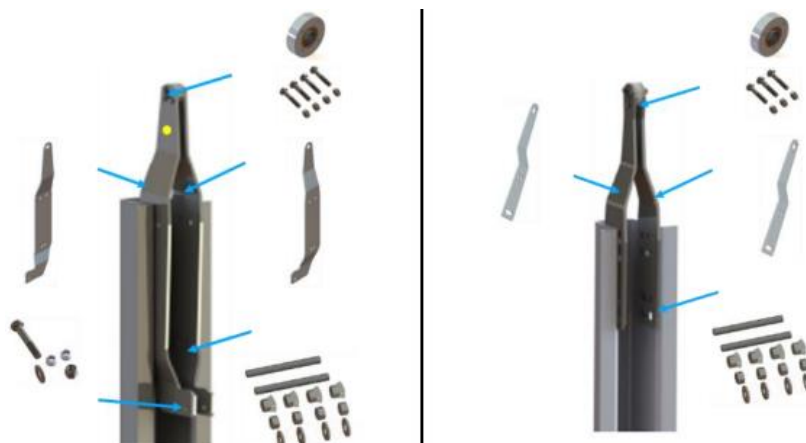
Figura 17: Armazenamento das peças pré-montadas



Fonte: Construtora, 2022

Instalação e torque de cabeça de estaca: na Figura 18 é apresentado o kit pré-montado, do modelo específico de estaca central ou lateral, que é distribuído e posicionado aos pés da respectiva estaca já cravada. Conforme na Figura 19, o montador posiciona a cabeça de estaca e a estabiliza na estrutura com parafusos, levemente inclinando a parte superior de modo que fique alinhada na direção leste-oeste. Em seguida, deve-se utilizar um apontador laser ou corda de nylon para aferir o alinhamento entre as estacas adjacentes, retificando qualquer inconsistência. Por fim, realiza-se o torque de fixação das peças com magnitude indicada pelo fabricante.

Figura 18: Esquema do kit de montagem de cabeças de estaca central (à esquerda) e lateral (à direita)



Fonte: Convert, 2022 apud Construtora, 2022

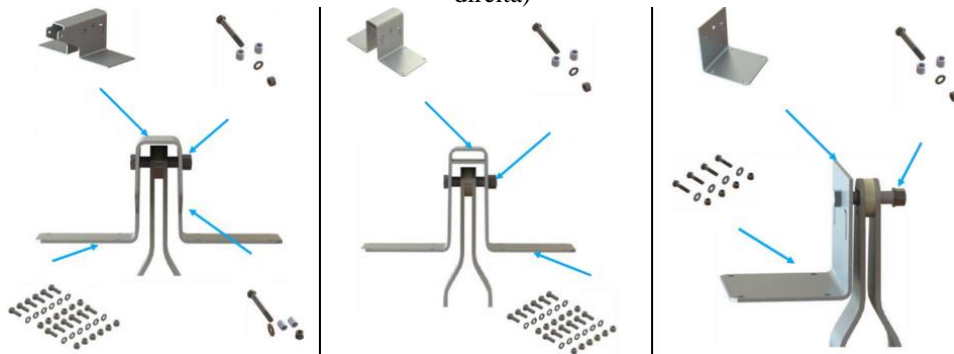
Figura 19: Montagem de cabeça de estaca



Fonte: Construtora, 2022

Instalação e torque de sela: na Figura 20 é apresentado o kit pré-montado, que é distribuído e posicionado aos pés da respectiva estaca já cravada. Conforme na , após finalizado o torque das cabeças de estaca, o operário posiciona a sela montada no local correto, sobre a cabeça da estaca, e realiza o torque dos parafusos.

Figura 20: Esquema do kit de montagem de selas central (à esquerda) e intermediária (ao centro) e terminal (à direita)



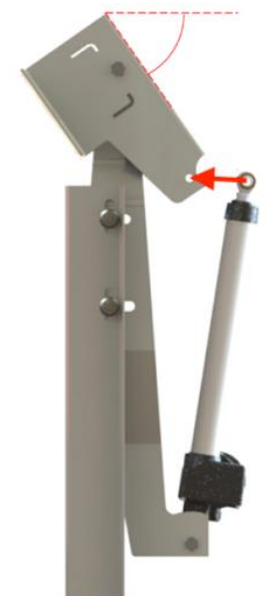
Fonte: Convert, 2022 *apud* Construtora, 2022

Figura 21: Montagem de sela



Fonte: Construtora, 2022

Instalação de atuador: na Figura 22 é apresentado o atuador, que é instalado na parte intermediária da string de módulos, junto à sela central. Ele é posicionado com suas partes inferior e superior alinhadas às respectivas partes da cabeça de estaca, travando temporariamente com um parafuso. Conforme na , ajusta-se a regulagem na parte inferior do atuador até o inclinômetro posicionado na parte superior da sela afira ângulo igual a $55,6^\circ$, então apertando a contra porca inferior para que a peça se trave na posição. O parafuso inferior é torqueado, e o superior retirado para que o furo possa ser rosquedo com um gancho até que deixe a sela em posição horizontal (0°).

Figura 22: Esquema de posicionamento do atuador em relação à cabeça do *tracker*

Fonte: Convert, 2022 *apud* Construtora, 2022

Figura 23: Instalação do atuador



Fonte: Construtora, 2022

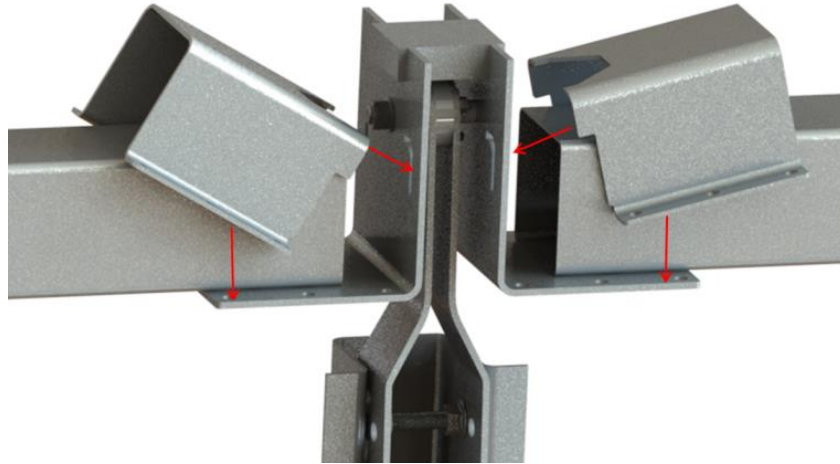
Içamento de *main-beam*: o *main-beam*, viga principal que conecta duas estruturas de fundação entre si, deve ser içado e posicionado sobre a sela de cada *tracker* adjacente, conforme na Figura 24.

Figura 24: Operários realizando o içamento de *main-beam*

Fonte: Construtora, 2022

Instalação e torque de gravata: a gravata é posicionada conforme na Figura 25, acima da ponta do *main-beam*, encobrindo-o, conforme na Figura 26. Fixa-se a peça à sela com parafusos.

Figura 25: Esquema de posicionamento do atuador em relação à cabeça do *tracker*



Fonte: Convert, 2022 *apud* Construtora, 2022

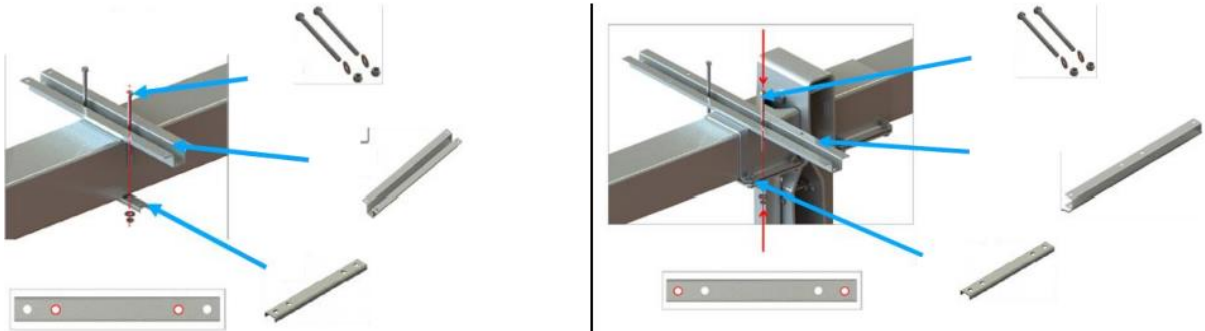
Figura 26: Operários realizando o torque das gravatas



Fonte: Construtora, 2022

Instalação e torque de suporte de módulo: por fim, conforme na Figura 27, fixa-se as duas hastes metálicas em formato de “U”, uma por cima e outra por baixo do *main-beam*, sendo que a superior deve ser virada para o lado contrário à viga. O espaçamento entre cada suporte deve ser igual à distância entre os furos de montagem dos módulos, especificados pelo fabricante. Dessa forma, cada módulo será fixado na aba esquerda de um suporte e na aba direita do suporte seguinte. No caso dos suportes Tipo C, localizados próximos à cabeça do *tracker*, estes terão apenas um módulo fixado sobre si. A montagem é apresentada na Figura 28.

Figura 27: Esquema do kit de montagem de suporte de módulos TI (à esquerda) e Tipo C (à direita)



Fonte: Convert, 2022 *apud* Construtora, 2022

Figura 28: Montadores realizando a instalação do suporte de módulo

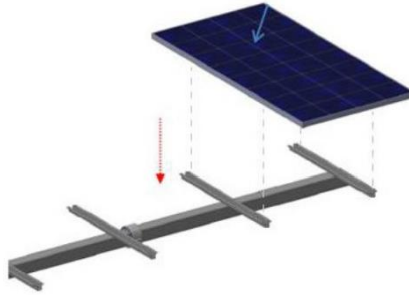


Fonte: Construtora, 2022

3.1.3.3 Montagem de módulo

Finalizados os posicionamentos e instalações de todos os suportes de módulo na estrutura dos *trackers*, pode-se posicionar o módulo sobre ela, conforme esquematizado na , e proceder com o encaixe dos parafusos. O primeiro módulo (em relação ao string-box) deve sempre ter o lado negativo apontado para o norte, sendo os demais polos posicionados alternadamente. A instalação é apresentada na Figura 29.

Figura 29: Posicionamento de um módulo fotovoltaico na estrutura de suporte



Fonte: Convert, 2022 apud Construtora, 2022

Figura 30: Posicionamento do módulo sobre a estrutura de suporte



Fonte: Construtora, 2022

Por fim, tem-se a estrutura do *tracker* finalizada, com os módulos fotovoltaicos instalados, conforme na Figura 31.

Figura 31: Parte da UFV com as estruturas de *trackers* e módulos finalizadas



Fonte: Construtora, 2022

3.2 Coleta de dados

3.2.1 Dados de mão de obra

O processo de coleta e validação dos dados de mão de obra provenientes das apropriações de campo está exposto no fluxograma da Figura 32. Esse processo foi feito sob responsabilidade dos encarregados em cada uma das frentes de serviço. O apontador era responsável por registrar cada colaborador constante na equipe, sua função específica naquele trabalho e o tempo de início e fim do processo, além de prováveis intempéries ou problemas externos que viriam a atrapalhar seu andamento.

Nesse processo, as informações eram coletadas de duas formas: o próprio apontador registrava manualmente no relatório diário de campo (RDC) físico as informações supracitadas; em paralelo, o encarregado da frente de serviço realizava o preenchimento da mesma informação em um aplicativo de apropriação terceirizado, através de *tablet* fornecido pela empreiteira. O apontador, que assim como o encarregado, fora capacitado e devidamente instruído ao preenchimento correto das informações em ambiente digital, também tinha a função de auxiliar o encarregado no correto preenchimento das informações.

Esse processo se repetia a cada final de turno, ou a cada vez que os colaboradores sob supervisão deste encarregado passavam a trabalhar em outra unidade de acompanhamento (UA).

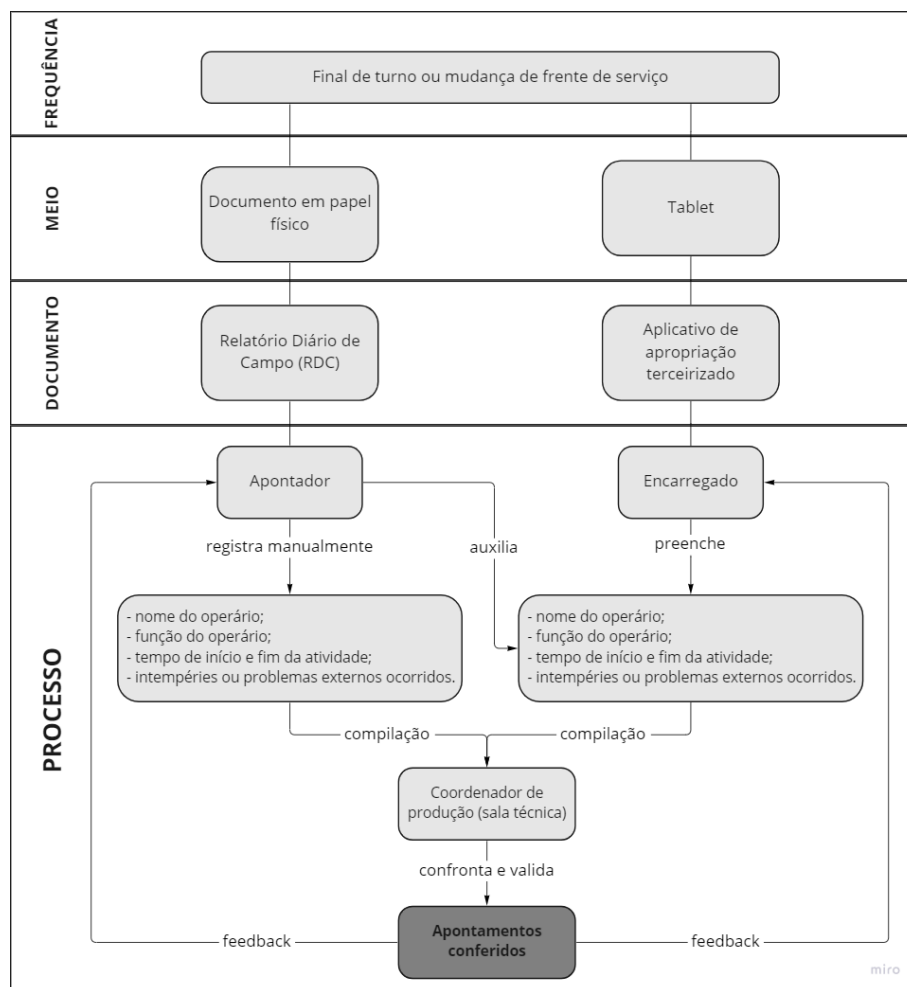
Durante a implementação desse processo foram identificados pontos sensíveis, que levavam ao preenchimento incorreto das informações no sistema. Estes principalmente ocorriam em frentes de serviço que alteravam sua unidade de acompanhamento durante o decorrer de um mesmo turno, causando dificuldade para o encarregado informar essa situação. Também foi identificado que, ao apontar o código referente à função dos colaboradores sob sua supervisão, os encarregados poderiam se confundir, levando a consolidações errôneas.

Dessa forma, o processo passou a ser validado pela sala técnica do empreendimento. No final de cada turno, cada encarregado depositava o RDC que era responsável na sala técnica. Então, o coordenador de produção confrontava as informações fornecidas pelo RDC com as obtidas através do sistema terceirizado, validando-as. Prestava-se atenção aos pontos

sensíveis supracitados, além de se o período total do turno é preenchido pela soma dos sub-períodos de cada uma das atividades informadas.

A validação foi essencial para o refino do processo, visto que os membros do time de produção constantemente realizavam *feedbacks* com o pessoal da frente de serviço, indicando os erros e acertos para que se minimizassem as divergências entre os documentos de controle. A seguir, está apresentado um fluxograma com o processo de apropriação de mão de obra.

Figura 32 Informações levantadas no processo de apropriação da mão de obra



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

3.2.2 Dados de produção

O processo de registro dos dados de produção era similar ao da apropriação de mão de obra. O apontador era designado para realizar a quantificação do total produzido em determinado intervalo de tempo, na frente de serviço designada, registrando as informações no relatório diário de obra (RDO) para o período e UA referentes.

Ao final do turno o documento era armazenado pela sala técnica, onde passava pela validação do coordenador de produção. Este compilava *feedbacks* e os repassava para a equipe de campo específica.

No período de medição da obra para aferição do avanço físico, esses documentos eram compilados e, juntamente com outras fontes, eram utilizados para se constatar o total realizado para cada atividade em cada parque e subcampo, retificando possíveis divergências nos totais produzidos. Assim, constatou-se que os valores não eram retificados em cada equipe, mas sim no totalizador do parque e subcampo, a cada dia. No controle de avanço físico a produção era acompanhada em um nível mais generalista em relação às apropriações de mão de obra. Dessa forma os dados validados na etapa de medição constituíram a base de dados utilizada no trabalho.

3.2.3 Fatores influenciadores

Nos itens a seguir, para cada uma das categorias de fatores influenciadores propostas na seção 2.2.2 serão explicitados os métodos de coleta, tratamento e estruturação dos conjuntos de dados. Ao final de cada subseção, serão explicitados os fatores influenciadores obtidos por cada coleta. A escolha das variáveis se deu pela disponibilidade das informações coletadas em campo e com base nos fatores apontados como relevantes em trabalhos anteriores, que devem ser passíveis de associação à uma frente de serviço ou a um dia de produção em campo.

3.2.3.1 Gerenciamento

Horas improdutivas administrativas, climáticas e de produção: As horas apropriadas em UAs em que o colaborador está disponível para o trabalho, mas que não representam atividades produtivas para o avanço físico da obra, são denominadas horas improdutivas. Com o valor apropriado nessas UAs, foi elaborado um índice para interpretá-las como um fator influenciador de produtividade, dado pela razão entre as horas improdutivas e o total de horas trabalhadas pela equipe.

As horas improdutivas foram classificadas em três categorias: *administrativa*, *climática* e *de produção*. As UAs apresentadas no Quadro 7 não foram contabilizadas no trabalho, pois representam períodos em que o trabalhador não está disponível.

Quadro 7: Unidades de Acompanhamento desconsideradas

Unidade de Acompanhamento
Intervalo – Refeição
Afastado – INSS
Atestado
Integração Empresa/Cliente
Férias
Falta
Folga
Folga de Pagamento
Licença Paternidade
Periódico – Exame Ocupacional
Treinamento
Visita Familiar

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A razão entre as horas classificadas em cada uma das categorias e o total de horas apropriadas no dia de trabalho será utilizada como índice para verificação de correlação entre estes e a produtividade das equipes nas datas em que ocorreram. Conforme indicado na seção 2.4, as horas apropriadas para os líderes de frente não se somaram às horas da equipe.

Exemplificando: a Figura 33 apresenta as sete UAs em que o colaborador esteve alocado no dia 03/06/2022. Observa-se, pela coluna *class_improdutivo*, que três dessas UAs foram classificadas como horas improdutivas administrativas, totalizando 1,00 hora.

Figura 33: Registros de todas as horas apontadas por UA para determinado colaborador no dia 03/06/2022

data	ua	lid_nome	op_nome	op_func	horas	class_improdutivo
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Torq. Cabeça			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.00	NaN
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.00	NaN
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Sela			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.00	NaN
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Atuador			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.00	NaN
2022-06-03	Deslocamento - Refeição			804534 - Op. de Minicarregadeira	0.33	Administrativa
2022-06-03	DDS - MO			804534 - Op. de Minicarregadeira	0.17	Administrativa
2022-06-03	Deslocamento Frente de Serviço - MO			804534 - Op. de Minicarregadeira	0.50	Administrativa

Fonte: *Software* terceirizado de apropriação

Quando os registros de horas improdutivas são excluídos do *data frame*, seus valores passam a ser expressos por uma coluna nos registros de cada atividade produtiva. Em casos em que, como no exemplo analisado, o colaborador teve horas apropriadas para mais de uma atividade produtiva ao longo de sua jornada, consideram-se as horas improdutivas

proporcionais para o total de horas produtivas. Ou seja, o colaborador que trabalhou 2,00 horas produtivas em quatro frentes de serviço, totalizou 8,00 horas produtivas em sua jornada. Assim, 1,00 hora improdutivo é diluída proporcionalmente em 0,25 hora para cada atividade produtiva, conforme a coluna *H. imp. adm. (h)* da Figura 34.

Figura 34: Registros de UAs produtivas para determinado colaborador no dia 03/06/2022

data	ua	lid_nome	op_nome	op_func	horas	horas_totais	horas_produtivas_totais	H. imp. adm. (h)
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Torq. Cabeça			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Sela			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Atuador			804534 - Op. de Minicarregadeira	2.0	2.25	8.0	0.25

Fonte: *Software* terceirizado de apropriação

Concentrando a análise para uma dessas UAs (*CG VI – SU2 – Mecânica – Instal. Cabeça*), na Figura 35 observa-se que todos os 21 colaboradores apropriados neste dia apresentaram o mesmo valor fracionado de horas improdutivo administrativas (0,25 hora).

Figura 35: Todos os registros de uma UA produtiva no dia 03/06/2022

data	ua	op_func	horas	horas_totais	horas_produtivas_totais	H. imp. adm. (h)
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	800743 - Servente de Obras	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	800743 - Servente de Obras	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	800743 - Servente de Obras	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	800743 - Servente de Obras	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	800743 - Servente de Obras	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	800743 - Servente de Obras	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	801136 - Enc. de Montagem	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804534 - Op. de Minicarregadeira	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804556 - Montador de UFV	2.0	2.25	8.0	0.25
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	804566 - Líder de Cravação	2.0	2.25	8.0	0.25

Fonte: *Software* terceirizado de apropriação

Quando os registros são agregados por dia, UA e líder, as horas produtivas e improdutivo apropriadas são somadas, neste caso resultando em 42,00 horas produtivas e 5,25 horas improdutivo administrativas. O campo *horas_totais* representa a soma entre esses

dois valores; este será utilizado posteriormente como entrada para cálculo da RUP. O último passo para a elaboração do índice é a divisão entre o total de horas improdutivas e as horas totais, obtendo-se um percentual. Assim, na Figura 36, para o exemplo em questão, observa-se na coluna *Horas improdutivas administrativas (%)* que as 5,25 horas apropriadas para atividades improdutivas resultaram em um índice de 11,11 (%) de horas improdutivas.

Figura 36: Horas improdutivas totais e percentuais para uma UA produtiva no dia 03/06/2022

data	ua	horas	horas_totais	Horas improdutivas administrativas (horas)	Horas improdutivas administrativas (%)
2022-06-03	CG VI - SU2 - Mecânica - Instal. Cabeça	42,0	47,25	5,25	0,111111

Fonte: *Software* terceirizado de apropriação

Esse mesmo procedimento é seguido para as horas improdutivas climáticas e de produção, sendo assim realizado para contornar casos como os de operários que pertenciam à frente de serviço de um líder durante um turno, e depois à de outro. Nessas situações, apenas um dos líderes apontava, por exemplo, o deslocamento para a frente de serviço; assim, ao se analisar a UA do período complementar, o total de horas improdutivas não refletia a realidade.

A classificação de todas as UAs consideradas como de horas improdutivas pode ser observada no Quadro 8.

Quadro 8: Classificação das horas improdutivas

Classificação	Unidade de Acompanhamento
Administrativa	Aguardando Liberação da Equipe de QSMS ⁵
	Ambulatório
	Assuntos Administrativos
	DDS - MO ⁶
	Deslocamento - Refeição
	Deslocamento Frente de Serviço - MO
Climática	Chuva / Raios E Consequências - MO
	Incidência de Ventos
Produção	Aguardando Equipamento
	Falta de Condições Para Trabalho (Iluminação, Água e ETC)

⁵ Terminologia adotada pela empresa. Verificar o Anexo A - Glossário da empresa.

⁶ Terminologia adotada pela empresa. Verificar o Anexo A - Glossário da empresa.

Retrabalho Por Serviço Não Conforme
Sem Frente de Serviço
Serviço Paralisado Pela Fiscalização
Stop Work⁷

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Tamanho da equipe: Foram também analisadas as composições das equipes nas frentes de serviço, pela quantificação dos operários constantes em cada equipe, sendo consideradas todas as funções da composição, com exceção do encarregado ou líder. Dessa forma, formulou-se o índice de tamanho da equipe.

Dia da semana: Para que se considerassem também possíveis variações periódicas no resultado da produtividade das equipes, foram considerados os dias da semana em que atividade é realizada. Estes variam qualitativamente de segunda-feira a domingo, visto que algumas atividades foram realizadas em regime de hora-extra, fora do expediente usual da obra.

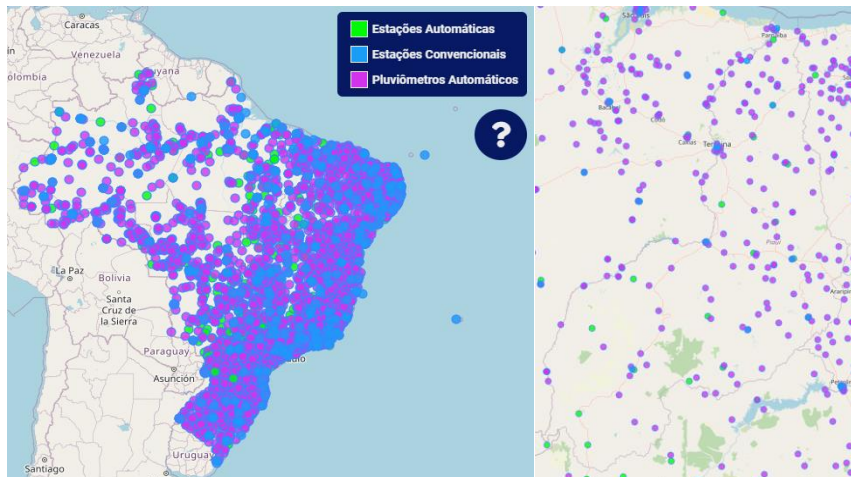
3.2.3.2 Climático

Foram utilizados dados relativos às condições climáticas da obra durante o período de análise, de primeiro de abril de 2022 a 30 de setembro de 2022. Para tal, se optou por analisar banco de dados de estações meteorológicas públicas disponíveis na região. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), subordinado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, disponibiliza em seu site oficial o Banco de Dados Meteorológico do Brasil, com informações coletadas em estações automáticas e convencionais, além de dados menos refinados coletados por pluviômetros automáticos.

As Figura 37 e Figura 38 retratam a distribuição dessas estações de coleta pelo país, e com enfoque no estado do Piauí.

⁷ Terminologia adotada pela empresa. Verificar o Anexo A - Glossário da empresa.

Figura 37 e Figura 38: Localização das estações meteorológicas no Brasil e no Piauí



Fonte: INMET (acessado em 06 de novembro de 2022)

Devido a não haver uma estação automática ou convencional na cidade de Caldeirão Grande do Piauí/PI, a estação escolhida para a coleta e análise do banco de dados foi a estação com dados disponíveis mais próxima, localizada na cidade de Paulistana/PI, convencional, de código 82882, distante cerca de 100 km do local da obra.

Os dados foram exportados do sistema do INMET agregados em base diária em formato CSV, resultando em tabela eletrônica conforme a Figura 39.

Figura 39: Exemplo de dados exportados

Data Medicao	INSOLACAO TOTAL, DIARIO(h)	PRECIPITACAO TOTAL, DIARIO(mm)	TEMPERATURA MAXIMA, DIARIA(°C)	TEMPERATURA MEDIA COMPENSADA, DIARIA(°C)	TEMPERATURA MINIMA, DIARIA(°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR, MEDIA DIARIA(%)	UMIDADE RELATIVA DO AR, MINIMA DIARIA(%)	VENTO, VELOCIDADE MEDIA DIARIA(m/s)
01/04/2022	3,3	14,4	31,1	25,02	18,40	96	77	1,0289
02/04/2022	null	0,0	null	null	19,80	null	77	4,1155
03/04/2022	null	null	null	null	null	null	null	null
04/04/2022	9,2	0,0	33,2	27,08	22,80	82	67	3,0866
05/04/2022	10,1	0,0	33,8	27,16	20,60	82	66	2,5722

Os campos informados pela Base de Dados Meteorológicos do INMET estão explicitados no Quadro 9.

Quadro 9: Campos da Base de Dados Meteorológicos do INMET

Base de Dados Meteorológicos

Data Medição

Insolação total diária (h)

Precipitação total diário (mm)
Temperatura máxima, diária (°C)
Temperatura média compensada, diária (°C)
Temperatura mínima, diária (°C)
Umidade relativa do ar, média diária (%)
Umidade relativa do ar, mínima diária (%)
Vento, velocidade média diária (m/s)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A variável “Data Medição” foi utilizada para se relacionar à data da apropriação. Dentre as demais, as variáveis selecionadas para os testes de correlação estão apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10: Fatores influenciadores climáticos

Base de Dados Meteorológicos
Insolação (h)
Precipitação (mm)
Temperatura máxima (°C)
Temperatura média (°C)
Velocidade média do vento (m/s)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

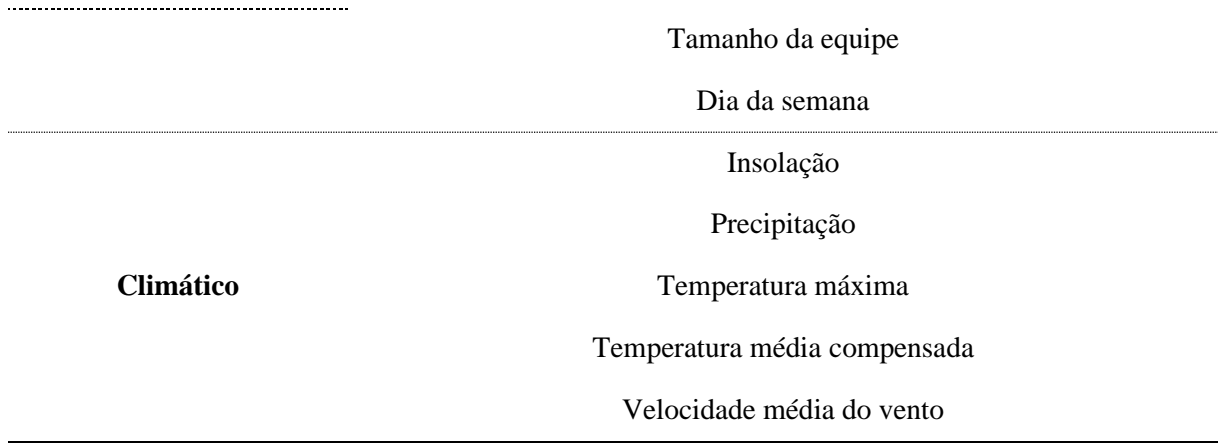
3.2.3.3 Resumo

No Quadro 11 tem-se os fatores influenciadores escolhidos para análise, subdivididos por categoria.

Quadro 11: Fatores influenciadores analisados no trabalho

Classificação	Fator influenciador
Gerenciamento	Horas improdutivas administrativas
	Horas improdutivas climáticas
	Horas improdutivas de produção

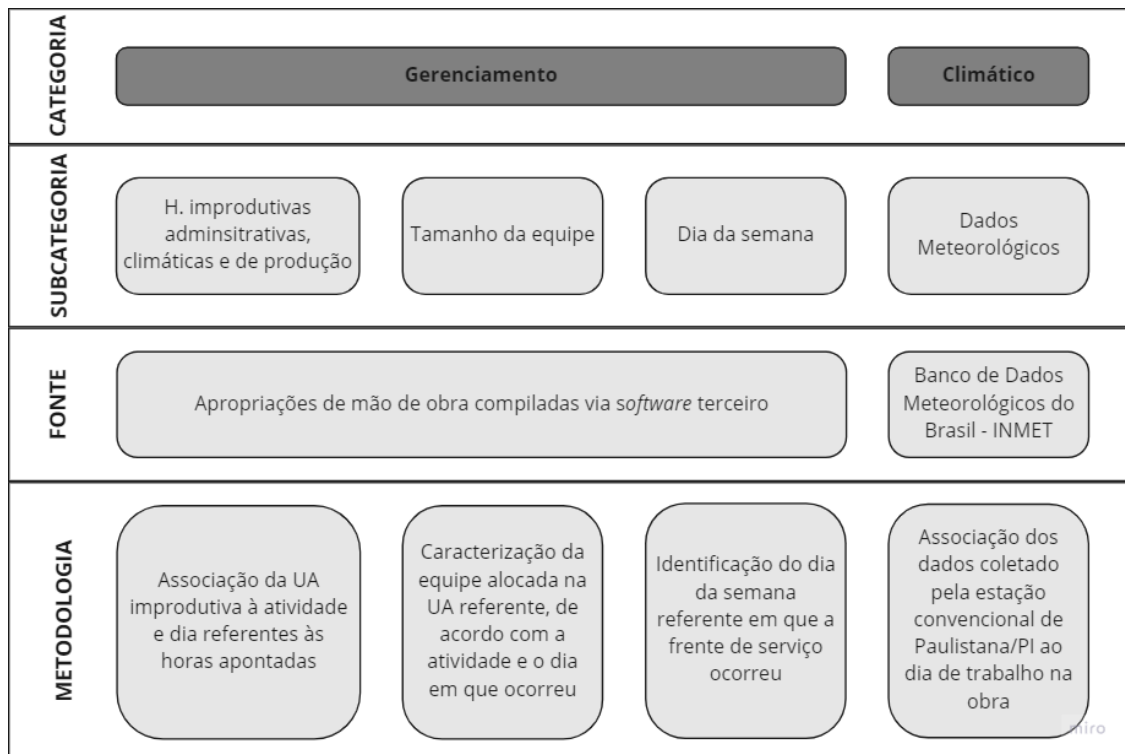
.....



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Já na Figura 40 está apresentado o diagrama de resumo dos métodos de coleta e associação destes fatores com a base de dados de apropriações de mão de obra e de quantitativos de produção.

Figura 40: Resumo dos fatores influenciadores analisados no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

3.3 Método de análise de dados

No presente trabalho buscou-se realizar uma análise estatística que retornasse em resultados quantitativos a influência de cada um dos fatores elencados previamente na produtividade da mão de obra, para as atividades de construção da UFV.

Obras desse porte se caracterizam por uma grande escala no que se refere a insumos e quantitativos, sejam eles de característica temporal, financeira, material ou de mão de obra. Ao compilar tais informações, obtêm-se uma base de dados robusta, pouco adequada para ser analisada manualmente ou por tabelas clássicas de apropriação.

Sendo assim, optou-se pela elaboração de um algoritmo que trate e estruture os dados para análise de correlações por pares, realizado em linguagem de programação Python, com o auxílio da biblioteca Pandas para o tratamento e análise e das bibliotecas Numpy, Matplotlib e Seaborn para representação gráfica dos resultados. Sua finalidade é retornar um modelo de resultados diretos e enxutos, e que possibilite escalabilidade quanto a importação de informações incrementais. Dessa forma, a utilização de mais dados da mesma obra, ou das mesmas variáveis coletadas em obras diferentes, a longo prazo resultará em valores cada mais refinados quanto a seus *outputs*.

3.3.1 Estruturação dos dados brutos

Inicialmente foram extraídos os dados de apropriação da mão de obra por meio do relatório ‘Apropriação de Horas Apontadas por Colaborador’ do sistema de apropriação terceiro em formato PDF e TXT. Os dados são abertos em base diária, em que cada registro representa a alocação de um colaborador em uma unidade de acompanhamento, sob a responsabilidade de um líder. Os campos utilizados foram: data; nome e função do colaborador; nome e função do líder responsável pela atividade; unidade de acompanhamento; total de horas apropriadas, conforme apresentado na Figura 41 e Figura 42. Algumas células estão tarjadas por se tratarem de dados pessoas dos colaboradores, sigilosos a pedido da empresa.

Figura 41: Exemplo de relatório de Apropriação de Horas Apontadas por Colaborador no formato PDF

Relatórios - Apropriação - Horas Apontadas por Dia e Colaborador

Data Inicial: 01/04/2022 **Colaborador:** Todos
Data Final: 15/04/2022 **Equipe:** Todos
Lider: Todos

Equipe 10 - CIVIL - CANAIS DE DREN/					
Lider: 16050			Função: 800703 - Enc. de Concreto		
Data Apropriação	UA	P26	Deslocamento - Refeição	Responsável da UA	
	Folha	Matricula	Colaborador	Cargo Legal	Hrs Apont
07/04/2022		CALDEIF25946		800742 - Pedreiro	0,33
		CALDEIF25947		800742 - Pedreiro	0,33
13/04/2022		CALDEIF26380		800742 - Pedreiro	0,33
		CALDEIF26381		800742 - Pedreiro	0,33
		CALDEIF26395		800743 - Servente de Obras	0,33
		CALDEIF26393		800743 - Servente de Obras	0,33
		CALDEIF26401		800743 - Servente de Obras	0,33
		CALDEIF26402		800743 - Servente de Obras	0,33
		CALDEIF26465		800742 - Pedreiro	0,33
		CALDEIF26114		800742 - Pedreiro	0,33

Fonte: Software terceirizado de apropriação

Figura 42: Exemplo de relatório de Apropriação de Horas Apontadas por Colaborador no formato TXT

```

CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26912;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/20
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26915;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26917;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26918;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/20
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26919;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/20
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26920;P41;Integração Elastrí/Cliente;10;10/0
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26930;P41;Integração Elastrí/Cliente;10;10/0
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26931;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26932;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26933;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26934;P41;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26935;P41;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26921;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26922;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26923;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26924;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
CALDEIRAO;CALDEIRAO;01/04/2022;09/08/2022;Todos;Todos;Todos;CALDEIRAO;26925;Integração Elastrí/Cliente;10;10/05/2022
    
```

Fonte: Software terceirizado de apropriação

Nesse momento criou-se o campo-chave “ID”, composto pela concatenação dos campos de data e unidade de acompanhamento, que foi utilizado durante toda a etapa de tratamento e limpeza da base de dados como referência para a agregação das informações. Posteriormente, o campo foi utilizado para mesclar as informações provenientes de outras bases de dados em um único *data frame*. O Quadro 12 apresenta exemplos de concatenação dos campos indicados, formando o campo-chave “ID”.

Quadro 12: Exemplo de concatenação de campos para formar o campo “ID”

Data	Unidade de Acompanhamento	ID
01-04-2022	CG VI – SU2 – Mecânica – Instal. Cabeça	01-04-2022 – CG VI – SU2 – Mecânica – Instal. Cabeça
05-04-2022	CG VI - SU2 - Mecânica - Cravação (Tracker)	05-04-2022 – CG VI - SU2 - Mecânica - Cravação (Tracker)
10-05-2022	CG VII - SU3 - Mecânica - Mont. Módulo	10-05-2022 – CG VII - SU3 - Mecânica - Mont. Módulo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A criação do campo “ID” possibilitou que se agregassem as horas individuais apropriadas para cada colaborador no dia de trabalho da unidade de acompanhamento, obtendo o total de horas utilizadas naquela frente de serviço.

No *data frame* ainda não agregado, foram classificadas e retiradas as unidades de acompanhamento consideradas como horas improdutivas (administrativas, climáticas e de produção). O processo de transformação desses registros em índice para correlação foi descrito na seção 3.2.3.1.

A próxima etapa foi a importação dessa base de dados de produção. Os campos utilizados foram: UA referente; quantitativo apropriado; unidade referente ao quantitativo. Como múltiplas equipes atuam em cada dia de trabalho na UA, a proposta inicial agregaria as informações a nível de equipe. Contudo, conforme descrito na seção 3.2.2, os dados de produção obtidos não possuíam tal granularidade. Dessa forma, as equipes atuantes no mesmo dia da UA foram agregadas em um único registro, com base em seu campo “ID”.

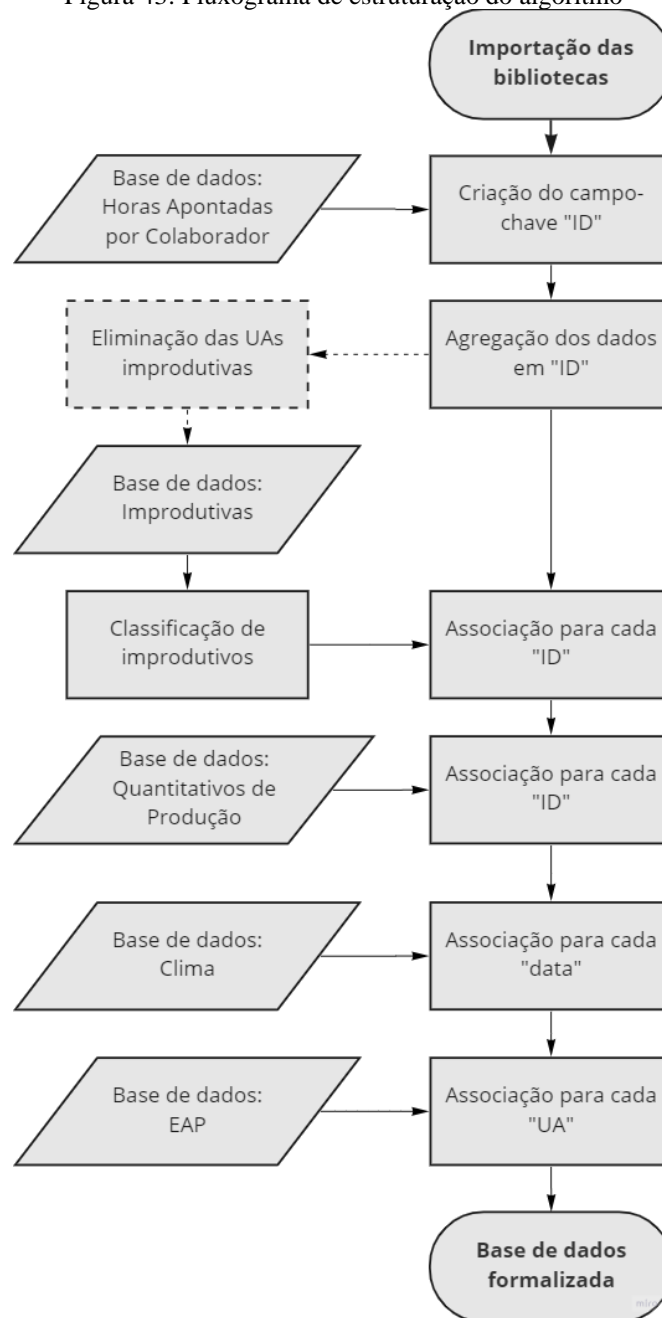
Dessa forma, obteve-se em uma mesma base, para cada campo-chave “ID”, os dados do quantitativo total de horas gastas pelas equipes de cada UA em um dia, e o que foi produzido nesta UA neste mesmo retrato. Assim se fez possível determinar o valor da razão unitária de produção (RUP) para aquele “ID”, pela razão entre a quantificação da produção (saídas) e as horas apropriadas para as equipes (entradas).

A última base de dados incluída no *data frame* foi a de dados climáticos. Esta, como exposto na seção 3.2.3.3 deste trabalho, foi obtida em base diária, o que possibilitou que fosse mesclada ao *data frame* base simplesmente se associando a data referente com a data da apropriação do “ID”.

Com todas as bases de dados externas incluídas no *data frame*, utilizou-se de função embutida na linguagem Python para se extrair o dia da semana referente da data de realização das atividades. Esta informação constituiu um *data frame* paralelo, utilizado para calcular a mediana do valor de RUP obtido para cada dia da semana, para cada atividade.

Na Figura 43 é apresentado um diagrama com o fluxo de importação e tratamento dos dados supracitados, de acordo com a Norma ISO 5807:1985.

Figura 43: Fluxograma de estruturação do algoritmo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

3.3.2 Compatibilização das EAPs das bases de dados

As atividades relativas a cada unidade de acompanhamento, devido ao grande porte da obra, são associadas individualmente à um parque e subcampo específico da usina fotovoltaica. Dessa forma, quando as unidades de acompanhamento foram agregadas para cada um dos “IDs” as quais fazem parte, o resultado são múltiplos “IDs” para cada uma das atividades individuais, um para cada frente de trabalho.

No processo de validação dos dados, verificou-se a utilização de duas estruturas analíticas de projeto (EAP) distintas para consolidação das atividades, sendo que a nomenclatura das atividades para cada uma diverge ao que representam, essencialmente na etapa de montagem de tracker. Essa divergência impossibilitaria qualquer análise aprofundada, e deve ser evitada para que os parâmetros se mantenham uniformes, preferencialmente não apenas entre os documentos da obra em estudo, mas entre as outras obras da construtora também. Sendo assim, optou-se por condensá-las em uma única estrutura, que será utilizada a partir desta etapa do trabalho.

O Quadro 13 apresenta a estrutura de EAP utilizada para o controle de avanço físico da obra, aberto para cada parque e subcampo. Já o Quadro 14 apresenta a EAP para a apropriação da mão de obra, também com abertura para cada parque e subcampo.

Quadro 13: EAP de Avanço Físico

1.	PQ X
1.1	MECÂNICA - PQ X
1.1.1	FUNDAÇÃO DO TRACKER (CRAVAÇÃO DIRETA) PQ X
1.1.1.1	FUNDAÇÃO DO TRACKER (CRAVAÇÃO DIRETA) - PQ X
1.1.1.1.1	FUNDAÇÃO DO TRACKER - CRAVAÇÃO DIRETA - PQ X - SU Y
1.1.2	MONTAGEM DE TRACKER - PQ X
1.1.2.1	MONTAGEM DE TRACKER - PQ X
1.1.2.1.1	MONTAGEM DE TRACKER - PRÉ.MONTAGEM CABEÇA - PQ X - SU Y
1.1.2.1.2	MONTAGEM DE TRACKER - TORQUE CABEÇA - PQ X - SU Y
1.1.2.1.3	MONTAGEM DE TRACKER - PRÉ.MONTAGEM SELA - PQ X - SU Y
1.1.2.1.4	MONTAGEM DE TRACKER - TORQUE SELA - PQ X - SU Y
1.1.2.1.5	MONTAGEM DE TRACKER - INSTALAÇÃO ATUADOR - PQ X - SU Y
1.1.2.1.6	MONTAGEM DE TRACKER - PRÉ.MONTAGEM GRAVATA - PQ X - SU Y
1.1.2.1.7	MONTAGEM DE TRACKER - IÇAMENTO <i>MAINBEAM</i> - PQ X - SU Y
1.1.2.1.8	MONTAGEM DE TRACKER - PRÉ.MONTAGEM SUPORTE - PQ X - SU Y
1.1.2.1.9	MONTAGEM DE TRACKER - TORQUE SUPORTE - PQ X - SU Y
1.1.3	MONTAGEM DE MÓDULO - PQ X
1.1.3.1	MONTAGEM DE MÓDULO - PQ X
1.1.3.1.1	MONTAGEM DE MÓDULO - PQ X - SU Y

Fonte: Construtora, 2022

Quadro 14: EAP de apropriação da mão de obra

	PQ X
1.1	MECÂNICA - PQ X
1.1.1	FUNDAÇÃO DO TRACKER (CRAVAÇÃO DIRETA) PQ X
1.1.1.1	FUNDAÇÃO DO TRACKER (CRAVAÇÃO DIRETA) - PQ X
1.1.1.1.1	PQ X - SU Y - Mecânica - Cravação (Tracker)
1.1.2	MONTAGEM DE TRACKER - PQ X
1.1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE TRACKER - PQ X
1.1.2.1.1	Geral - Pré-montagem - Cabeça
1.1.2.1.2	Geral - Pré-montagem - Sela
1.1.2.1.3	Geral - Pré-montagem - Suporte. Módulo
1.1.2.2	MONTAGEM DE TRACKER - PQ X
1.1.2.2.1	PQ X - SU Y - Mecânica - Instal. Cabeça
1.1.2.2.2	PQ X - SU Y - Mecânica - Torq. Cabeça
1.1.2.2.3	PQ X - SU Y - Mecânica - Instal. Sela
1.1.2.2.4	PQ X - SU Y - Mecânica - Torq. Sela
1.1.2.2.5	PQ X - SU Y - Mecânica - Instal. Atuador
1.1.2.2.6	PQ X - SU Y - Mecânica - Torq. Atuador
1.1.2.2.7	PQ X - SU Y - Mecânica - Instal. Gravata
1.1.2.2.8	PQ X - SU Y - Mecânica - Torq. Gravata
1.1.2.2.9	PQ X - SU Y - Mecânica - Içamento <i>Main Beam</i>
1.1.2.2.10	PQ X - SU Y - Mecânica - Instal. Suporte
1.1.2.2.11	PQ X - SU Y - Mecânica - Torq. Suporte
1.1.3	MONTAGEM DE MÓDULO - PQ X
1.1.3.1	MONTAGEM DE MÓDULO - PQ X
1.1.3.1.1	PQ X - SU Y - Mecânica - Mont. Módulo

Fonte: Construtora, 2022

Como diferenças, pode-se notar no Quadro 14 que as atividades de pré-montagem, por não apresentarem subdivisão prática na operação, que ocorre apenas na área de pré-montagem, não constam aberturas por parque e subcampo. Esta abertura está presente na , visto que os quantitativos eram aferidos para cada parque e subcampo.

Na estrutura do Quadro 14, múltiplas UAs se subdividiam para cada atividade de pré-montagem indicada, sendo referentes aos diferentes modelos de peças: três modelos de cabeça de estaca (central; interna; externa); três modelos de sela (central; intermediária; terminal) e quatro modelos de módulo (S1; S2; S3; Tipo C). Para evitar essa fragmentação, esses foram agregados de acordo com a peça a que se referiam.

Além disso, as atividades de montagem de cabeça de estaca, sela, gravata e suporte de módulo são abertas em instalação e suporte na EAP de apropriação de mão de obra, enquanto são consideradas unificadas na tarefa de ‘torque’ para a EAP de avanço físico. Nesse caso, somou-se as horas apropriadas para as tarefas de instalação e suporte, no dia e frente de análise, para relacionar com a produção do ‘torque’ de cada uma. Dessa forma, tem-se o Quadro 15, que unifica as duas anteriores.

Quadro 15: EAP final compatibilizada

1	MECÂNICA
1.1	FUNDAÇÃO DE TRACKER
1.1.4	CRAVAÇÃO
1.2	PRÉ-MONTAGEM DE TRACKER
1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA
1.2.2	PRÉ-MONTAGEM DE SELA
1.2.3	PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO
1.3	MONTAGEM DE TRACKER
1.3.1	TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA
1.3.2	TORQUE DE SELA
1.3.3	INSTALAÇÃO DE ATUADOR
1.3.4	IÇAMENTO DE <i>MAINBEAM</i>
1.3.5	MONTAGEM DE GRAVATA
1.3.6	TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO
1.4	MONTAGEM DE MÓDULO

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

No Quadro 15 não se fazem presentes os parques e subcampos, pois seu intuito é analisar a atividade em si. Essa é a estrutura de EAP a ser utilizada a partir desta etapa.

3.3.3 Aderência dos dados

Para que se garanta a confiabilidade dos resultados da análise foram necessários três tratamentos no *data frame*. Conforme descrito na seção 2.3, o índice de correlação de Pearson apresenta resultados mais satisfatórios quando a base de dados analisada não contém *outliers* e os dados apresentam distribuição normal. Ainda, é necessário estipular uma quantidade n mínima de registros para que a análise seja coerente. Os tratamentos foram aplicados na ordem aqui descritos.

Eliminação dos *outliers*: conforme exposto na seção 2.2.1, sabe-se que o valor da RUP obtida pode variar em grande proporção de seu valor médio. Para garantir a confiabilidade dos resultados foi necessário que se filtrassem os valores desviantes: RUPs obtidas que possuíam valor muito discrepante em relação à RUP mediana. Esse tratamento garantirá que se note a sensibilidade da variação da RUP da mão de obra em relação às variáveis em uma situação normal de obra, ignorando apontamentos muito altos ou muito baixos em relação ao valor mediano encontrado.

Os *outliers* foram excluídos do *data frame*: para isso, se utilizou a medida de dispersão de amplitude inter-quartis (IQR). Para os valores de RUP de cada atividade da EAP, foram calculados a mediana (Q2) e os quartis inferior (Q1) e superior (Q3) do conjunto, que representam respectivamente os intervalos de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ da massa total de dados. Com os valores de Q1 e Q3, é possível encontrar a amplitude interquartis, que resulta da subtração do segundo pelo primeiro, dada a equação:

$$IQR = Q3 - Q1$$

Em seguida, calculou-se os valores dos limites inferior (Li) e superior (Ls) de cada amostra, sendo:

$$Li = Q1 - 1,5 * Q2$$

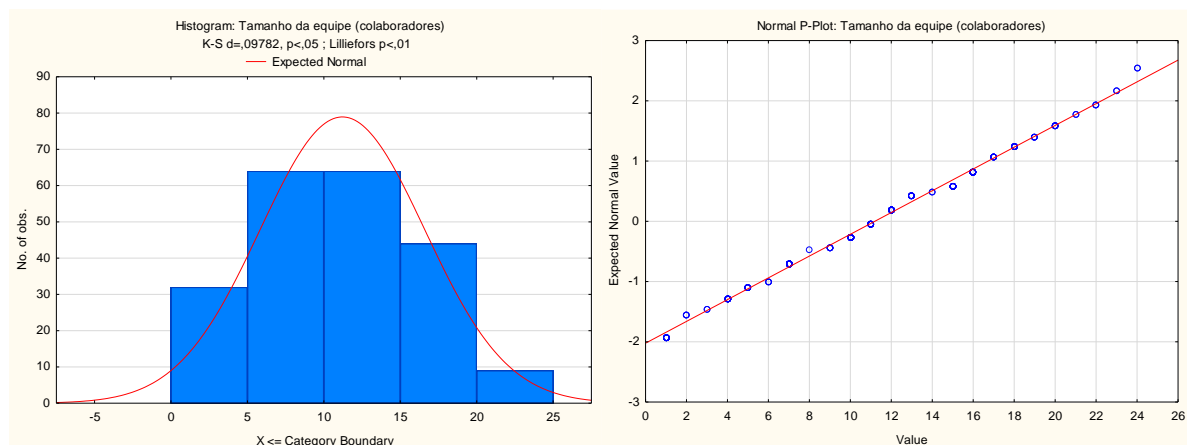
$$Ls = Q3 + 1,5 * Q2$$

O intervalo entre Li e Ls passa a ser a conter a gama de valores de RUP utilizadas nas análises, e os que ficam fora desse intervalo são considerados *outliers*, então sendo removidos do *data frame*.

Quantidade mínima de registros: optou-se por considerar como válidas apenas as atividades da EAP que possuíam um número n de registros (ou “IDs”) mínimo. Considerando a escala do volume de dados compilados, para cada atividades da EAP foi estipulado um número n mínimo de registros $n_{\text{mín}} \geq 20$. Os registros de atividades não contemplados nesse recorte foram descartados do *data frame*.

Distribuição normal dos dados: esta pode ser aferida pela aderência da distribuição de frequências verificadas por meio de um histograma em relação à curva normal esperada, ou pela aderência dos registros unitários, em um gráfico de distribuição normal, à reta que representa a mesma curva esperada. Ambas as situações estão apresentadas nas Figura 44 onde os dados plotados apresentam distribuição avaliada pelo autor como normal.

Figura 44 e Figura 45: Exemplos de histograma e gráfico de probabilidade normal para dados considerados aderentes



Fonte: Base de dados do trabalho (software Statistica), elaborado pelo autor, 2022

Dessa forma, para cada atividade da EAP analisada no trabalho, foi exportada do algoritmo computacional uma base de dados contendo cada um dos registros obtidos para os fatores influenciadores⁸, aqui referidos como variáveis. Para cada variável, os registros tiveram sua frequência plotada em histogramas e curvas de probabilidade normal, com utilização do *software Statistica*. Finalizado o tratamento, é possível aplicar o índice de correlação de Pearson à base de dados para que seus resultados sejam analisados.

⁸ O fator de ‘Dia da semana’ não foi correlacionado da mesma maneira que os demais, devido a representar uma variável categórica ordenada: os dados apareceriam no *data frame* de forma booleana, prejudicando a análise, pois para esta variável, o esperado é entender a variação mediana da RUP ao longo da semana de trabalho.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Considerações e resultados gerais

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das análises de correlação realizada entre os dados de produtividade de mão de obra coletados em campo e os fatores influenciadores explicitados na seção 3.2.3. Tais dados foram coletados de diferentes fontes, unificados em uma base de dados (*data frame*) única, onde foi verificada a sua integridade: para os serviços da EAP e fatores influenciadores validados pelo processo de aderência, calculou-se o índice de correlação de Pearson por meio do algoritmo estruturado. Todo esse processo foi descrito detalhadamente na seção 3.3.

No estão apresentadas as quantidades de atividades, registros e fatores influenciadores constantes na base de dados em cada etapa da aderência dos dados. A coluna de fatores influenciadores indica quantos serão analisados para pelo menos uma atividade da EAP. Do quantitativo inicial de dez fatores, não se considera a variável ‘dia da semana’ por ser qualitativa ordinal, não havendo sentido aplicar testes de correlação. Essa é incluída direto na última etapa da Tabela 3.

Tabela 3: Quantidade de atividades, registros e fatores influenciadores em cada etapa do refinamento de dados

Etapa	Atividades	Registros	Fatores Influenciadores
Base de dados bruta	11	613	9
Eliminação dos <i>outliers</i>	11	559	9
Quantidade mínima de registros	11	559	7
Distribuição normal dos dados	11	559	3
Base de dados final	11	559	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Eliminação de *outliers*: para cada atividade da EAP, os valores desviantes foram removidos da base de dados pela metodologia de interquartis, abordada na seção 3.3.3.

Quantidade mínima de registros: os fatores influenciadores ‘Horas improdutivas climáticas’ e ‘Horas improdutivas de produção’ foram removidos da análise, pois

apresentavam uma quantidade ínfima de registros apropriados. Quanto às atividades, todas obtiveram n superior ao mínimo estipulado (20 registros).

Distribuição normal de dados: por fim, notou-se que apenas os fatores influenciadores de ‘temperatura máxima’, ‘temperatura média’ e ‘vento médio’ apresentarem distribuição normal dos dados. Sendo assim, decidiu-se trabalhar apenas com os dados que apresentaram distribuição normal evitando lançar mão de normalização dos dados amostrais.

O detalhamento de cada fator será abordado na seção respectiva deste capítulo; os removidos nas etapas anteriores também serão analisados, com considerações para que possam ser coletados e tratados da melhor forma em trabalhos futuros.

Sendo assim, a Tabela 4 apresenta as atividades que foram efetivamente analisadas, e o número de registros obtidos para cada uma.

Tabela 4: EAP final compatibilizada

1	MECÂNICA	559
1.1	FUNDAÇÃO DE TRACKER	109
1.1.4	CRAVAÇÃO	109
1.2	PRÉ-MONTAGEM DE TRACKER	127
1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA	44
1.2.2	PRÉ-MONTAGEM DE SELA	40
1.2.3	PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO	43
1.3	MONTAGEM DE TRACKER	276
1.3.1	TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA	41
1.3.2	TORQUE DE SELA	29
1.3.3	INSTALAÇÃO DE ATUADOR	29
1.3.4	IÇAMENTO DE <i>MAINBEAM</i>	44
1.3.5	MONTAGEM DE GRAVATA	66
1.3.6	TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO	67
1.4	MONTAGEM DE MÓDULO	47

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

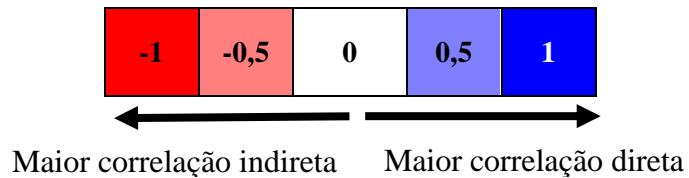
Os valores de RUP diária e RUP cumulativa para cada atividade podem ser observados no Anexo B – RUPd e RUPcum ao longo do tempo para cada atividade⁹.

Quantitativamente, o resultado obtido para cada cruzamento é sempre um número do intervalo $[-1, 1]$, que representa a intensidade da correlação entre o fator influenciador analisado e a produtividade da mão de obra (RUP). A contextualização teórica desse processo foi abordada na seção 2.3.

⁹ Os pontos representam os registros individuais coletados para cada frente de serviço apontada; a linha azul representa os valores das RUPs agregadas por dia de trabalho, aqui chamada de RUP diária; a linha vermelha representa os dados da RUP diária acumulados, chamados de RUP cumulativa.

Assim, foi adotada uma escala gráfica para representar os valores obtidos com clareza. Os valores negativos serão representados em vermelho, e os positivos, em azul. A intensidade da cor representa a intensidade da correlação, conforme a Figura 46.

Figura 46: Escala gráfica dos resultados obtidos



A seguir, os resultados obtidos serão detalhados a partir da estrutura de classificação dos fatores influenciadores estruturada ao longo da seção 3.2.3.

4.2 Fatores influenciadores

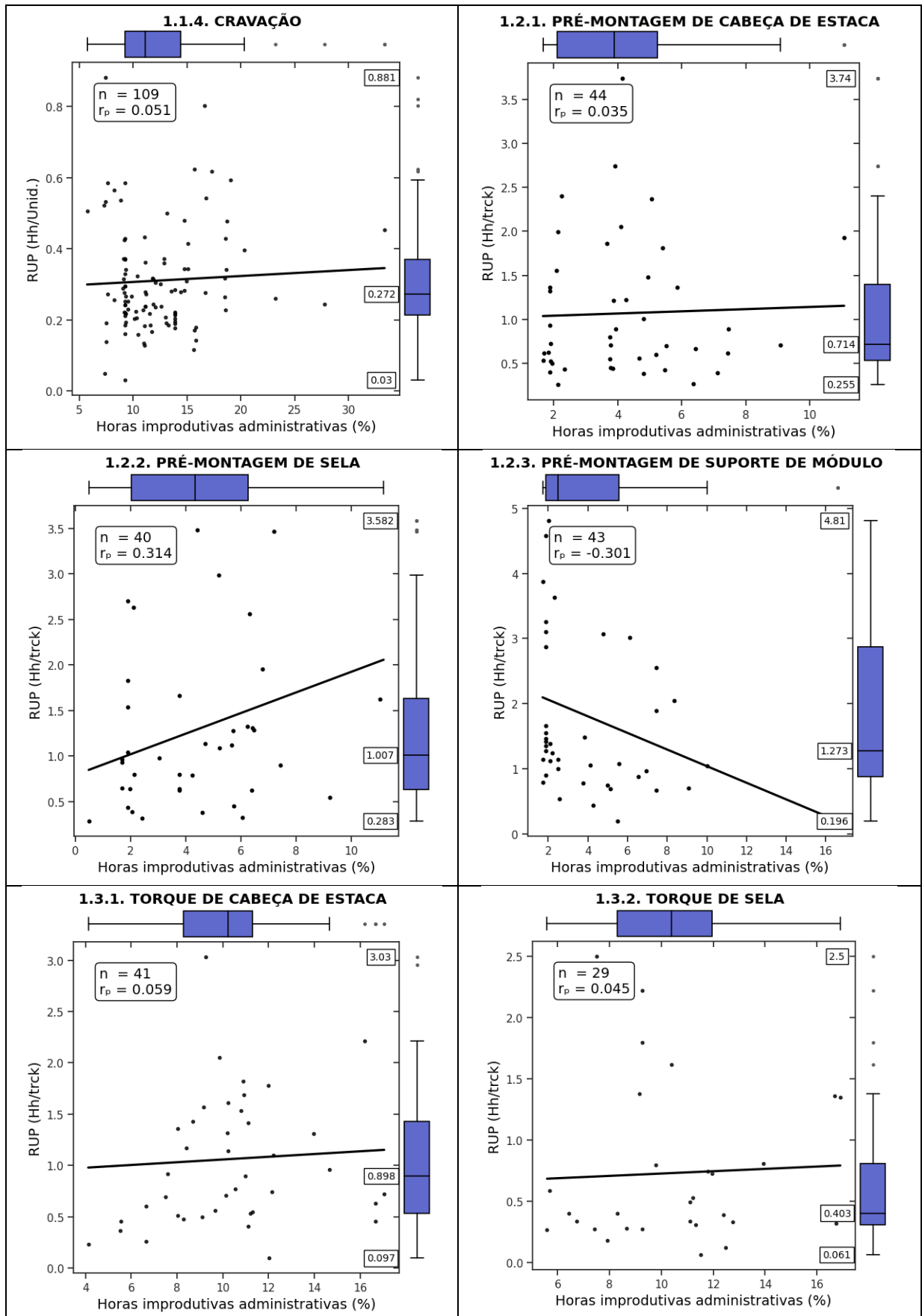
4.2.1 Gerenciamento

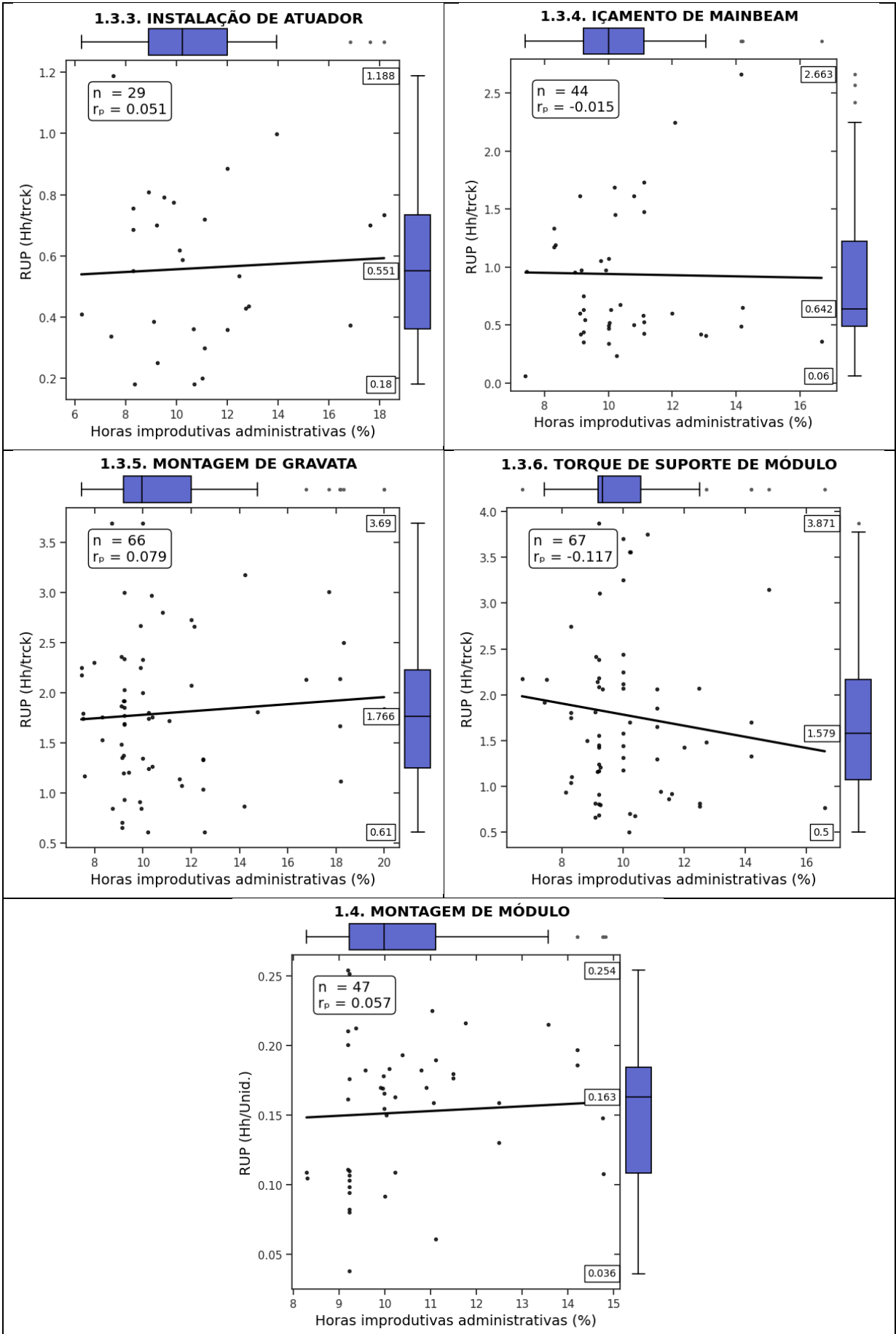
4.2.1.1 Horas improdutivas administrativas

Os dados coletados relativos ao fator influenciador ‘Horas improdutivas administrativas’ não apresentaram distribuição normal para nenhuma das atividades analisadas. Entende-se que isso se deu devido a quantidade reduzida de registros obtidos para análise; a coleta de mais dados em campo seria necessária para que pudessem apresentar tal comportamento.

Apesar dessa constatação, para cada atividade analisada foi plotado um gráfico de dispersão, onde a linha representa a regressão dos valores para o primeiro grau, apresentado na Figura 47.

Figura 47: Gráficos por atividade: RUP x Horas improdutivoas administrativas (%)





Mesmo para as atividades em que se observa índice de correlação de intensidade superior à negligenciável ($> 0,300$), as distribuições dos dados nos gráficos parecem denotar pouca correlação entre os fatores. De forma geral, constata-se pouca influência desse fator na produtividade das equipes, o que seria melhor aferido com uma quantidade maior de dados.

4.2.1.2 Horas improdutivas climáticas e de produção

Como introduzido anteriormente, não foram obtidos dados suficientes para realizar uma análise aprofundada da correlação entre as horas improdutivas climáticas e de produção e a produtividade das equipes. Essa escassez indica pouco tempo apropriado para tais classificações de horas improdutivas.

Quanto às climáticas, isso pode ser explicado pelo período em que os dados foram coletados: os meses de maio a outubro representam o período seco na região onde a obra se localiza, caracterizado pela quantidade reduzida de chuvas e contratempos climáticos.

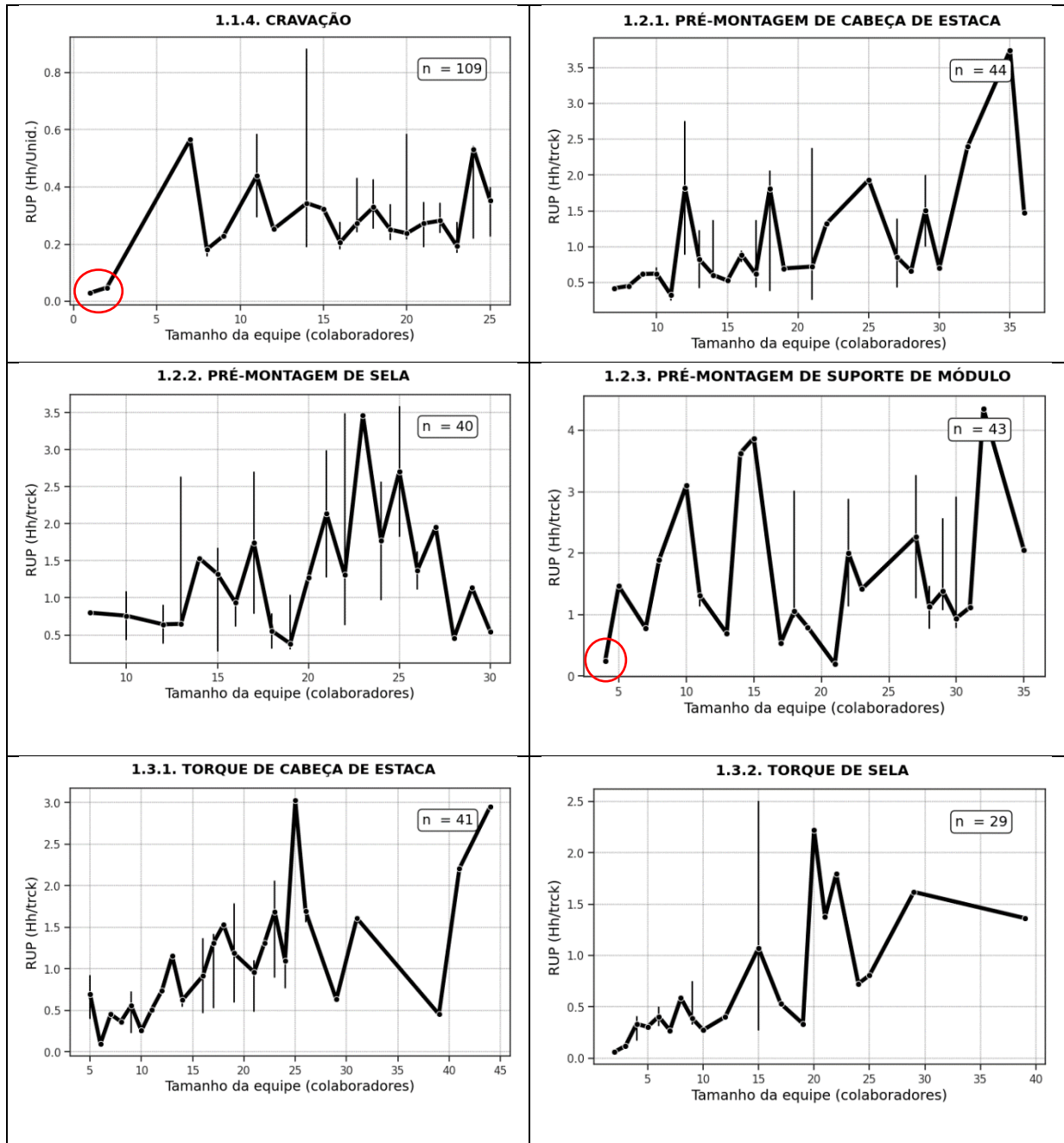
Já em relação às horas de produção, constatou-se que, devido ao porte da obra e a quantidade de profissionais e frentes de serviço ocorrendo concomitantemente, quando ocorriam situações de parada do trabalho por esse motivo, as equipes eram rapidamente realocadas em outras frentes de serviço próximas, aderentes à função e aptas a incorporar o operário. Isso denota um bom gerenciamento dos recursos disponíveis, visto que o colaborador não ficava ocioso.

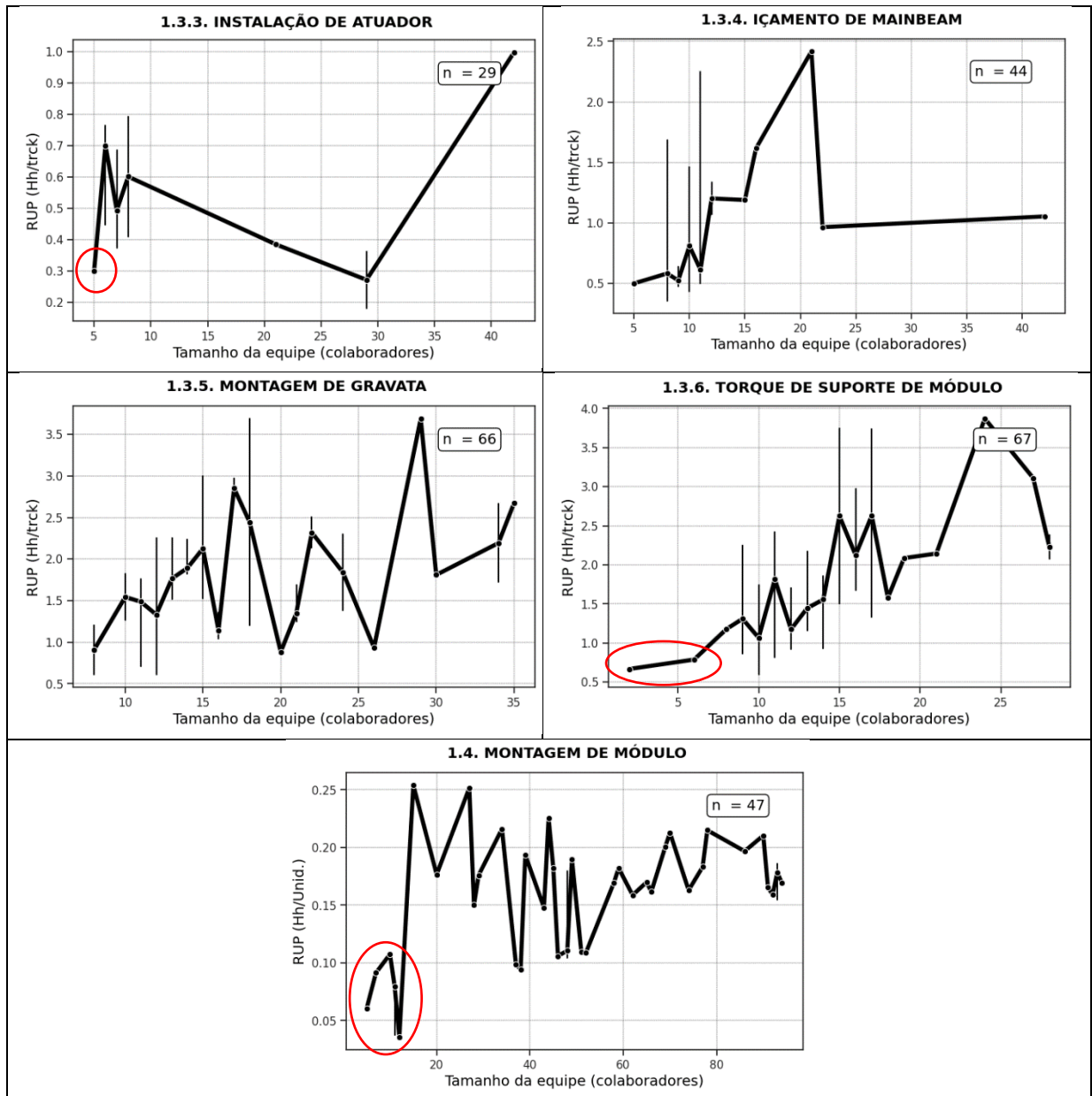
4.2.1.3 Tamanho da equipe

Os dados coletados relativos ao fator influenciador ‘tamanho de equipe’ não apresentaram distribuição normal para nenhuma das atividades analisadas. Percebe-se atividades com quantitativos muito pequenos de pessoal apropriado, comportamento que denota possível erro na apropriação: conforme avaliado com a equipe de obra, equipes de tamanho muito reduzido não foram utilizadas com frequência, sendo estes apontamentos resultados de apropriações em unidades de acompanhamento incorretas. Essa situação também pode ser fruto da alocação incorreta de pessoal remanejado entre frentes nos casos de ocorrência de problemas de produção citados anteriormente. Verificam-se casos nas atividades de ‘cravação’, ‘pré-montagem de suporte de módulo’, ‘instalação de atuador’, ‘torque de suporte de módulo’, ‘montagem de módulo’.

Para cada atividade analisada foi plotado um gráfico, onde os pontos representam os valores de mediana da RUP para cada tamanho de equipe, apresentados na Figura 48. As barras representam o intervalo onde 95% dos valores estão presentes para este tamanho. As atividades mencionadas anteriormente com possíveis erros na apropriação estão com os valores referentes destacados.

Figura 48: Gráficos por atividade: RUP x Tamanho da equipe (colaboradores)





Analisando as curvas, constata-se uma tendência geral: a produtividade piora gradativamente para as equipes com mais colaboradores alocados. Isso se dá pois, com uma equipe reduzida, o líder consegue acompanhar melhor o serviço e gerenciar a alocação dos recursos nas subatividades; já quando as equipes ficam inchadas, o excesso de trabalhadores dificulta esse controle e faz com que a RUP aumente. Uma proposta para o controle desse viés é analisar a produtividade para o aumento da quantidade de líderes por equipe, conforme aumenta o tamanho total da equipe. Dessa forma, constata-se a existência de um tamanho de equipe ótimo para cada atividade, conforme Quadro 16, onde não serão considerados os valores grifados como passíveis de erro.

Quadro 16: Tamanho de equipe ótimo em relação à RUP mediana obtida, por atividade

Atividade	Tendência da RUP com o aumento do tamanho da equipe	Equipe ótima (colaboradores)	RUP associada à equipe ótima
1.1.4. CRAVAÇÃO	Estabilidade	-	-
1.2.1 PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA	Piora	5 - 12	0,35 - 0,60
1.2.2 PRÉ-MONTAGEM DE SELA	Piora	18 - 19	0,40 - 0,50
1.2.3 PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO	Estabilidade	-	-
1.3.1 TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA	Piora	6 - 10	0,20 - 0,50
1.3.2 TORQUE DE SELA	Piora	2 - 5	0,20 - 0,40
1.3.3 INSTALAÇÃO DE ATUADOR	Piora - Melhora	28	0,30
1.3.4 IÇAMENTO DE MAIN-BEAM	Piora	5 - 12	0,50 - 0,80
1.3.5 MONTAGEM DE GRAVATA	Piora	5	0,80
1.3.6 TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO	Piora	2 - 6	0,70 - 0,80
1.4 MONTAGEM DE MÓDULO	Melhora - Piora	36 - 52	0,09 - 0,11

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.2.1.4 Dia da semana

Este fator condensa os dados categoricamente de acordo com o dia da semana em que foi realizada a atividade em questão. A Tabela 5 apresenta a mediana dos valores de RUP para cada dia da semana, numericamente formatada numa escala de vermelho à verde, onde o primeiro representa valores piores para a RUP, e o segundo, melhores, para cada atividade.

Tabela 5: RUP mediana por dia da semana para cada atividade da EAP

Índice	Atividade	Unidade	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
1.1.4	CRAVAÇÃO	Hh/Unid.	0,300	0,270	0,254	0,252	0,304	0,218
1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA	Hh/tracker	0,696	0,795	0,705	0,604	0,893	0,889
1.2.2	PRÉ-MONTAGEM DE SELA	Hh/tracker	1,308	0,786	1,295	0,918	0,976	1,055
1.2.3	PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO	Hh/tracker	0,979	1,483	0,964	1,440	1,556	1,123
1.3.1	TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA	Hh/tracker	0,686	1,417	0,613	0,961	0,898	0,575
1.3.2	TORQUE DE SELA	Hh/tracker	0,745	0,389	0,801	0,495	0,242	0,198
1.3.3	INSTALAÇÃO DE ATUADOR	Hh/tracker	0,733	0,362	0,587	0,510	0,436	0,410
1.3.4	IÇAMENTO DE MAINBEAM	Hh/tracker	0,649	0,600	0,957	1,077	0,526	0,677
1.3.5	MONTAGEM DE GRAVATA	Hh/tracker	2,333	1,746	1,674	2,048	1,821	1,760
1.3.6	TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO	Hh/tracker	1,698	1,782	1,627	1,241	1,700	0,827
1.4	MONTAGEM DE MÓDULO	Hh/Unid.	0,167	0,169	0,162	0,155	0,134	0,185

Percebe-se que, em geral, aos sábados a produtividade é melhor. O trabalho em finais de semana se dava esporadicamente para o cumprimento de determinadas metas de produção, e assim pode-se interpretá-lo como mais focado, resultando nos melhores valores para RUP. Em contrapartida, os piores valores para a RUP são, para a maioria das atividades, obtidos na segunda-feira. No Quadro 17 são apresentadas as quantidades de registros compilados para cada dia da semana.

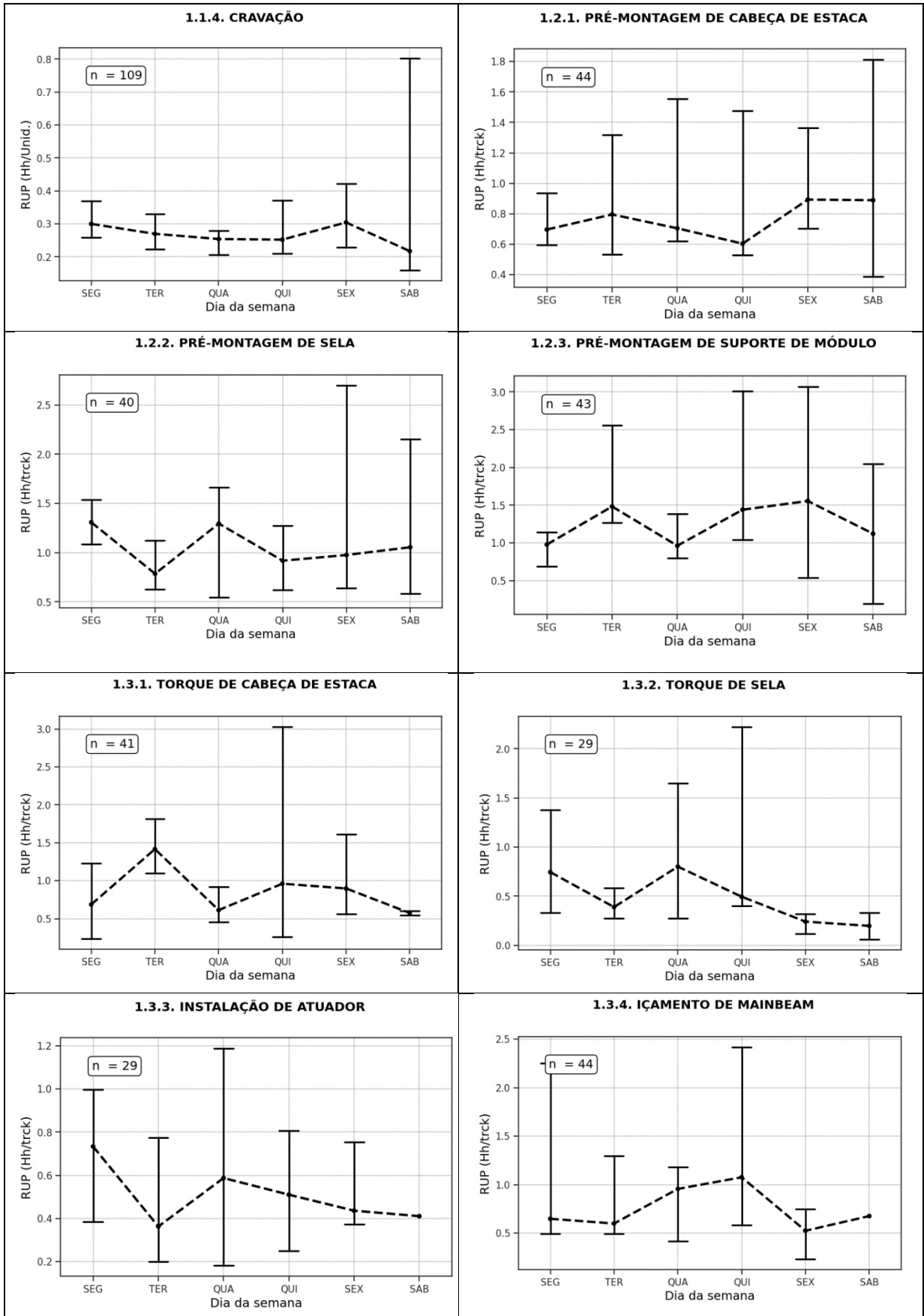
Quadro 17: Quantidade de registros por dia da semana para cada atividade da EAP

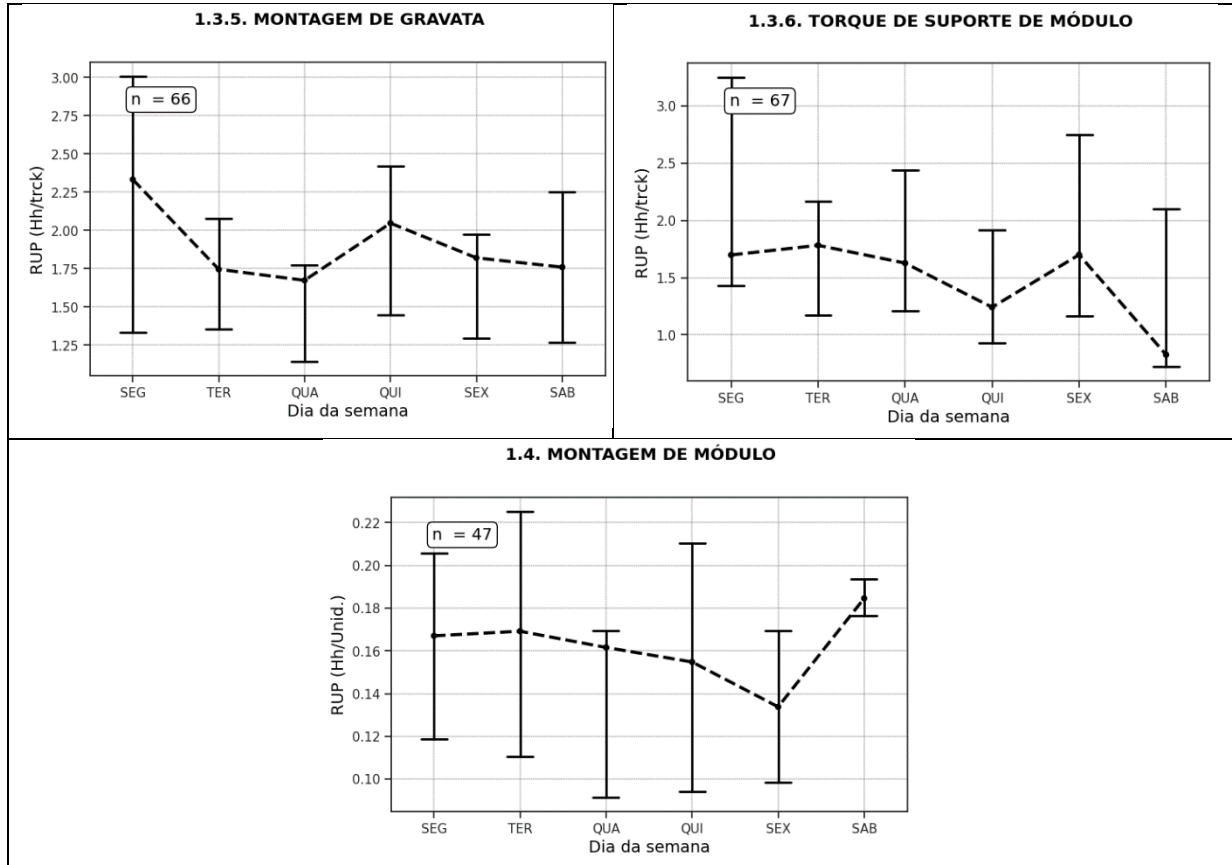
Índice	Atividade	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB
1.1.4	CRAVAÇÃO	19	22	18	23	22	5
1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA	9	7	7	6	9	6
1.2.2	PRÉ-MONTAGEM DE SELA	7	6	8	6	9	4
1.2.3	PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO	8	11	11	8	3	2
1.3.1	TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA	8	9	8	5	9	2
1.3.2	TORQUE DE SELA	5	7	8	3	4	2
1.3.3	INSTALAÇÃO DE ATUADOR	5	9	5	4	5	1
1.3.4	IÇAMENTO DE MAINBEAM	9	10	9	8	7	1
1.3.5	MONTAGEM DE GRAVATA	9	13	13	12	12	7
1.3.6	TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO	9	14	14	13	11	6
1.4	MONTAGEM DE MÓDULO	8	9	7	11	8	4

Analisando o Quadro 17 salienta-se que os dias de sábado são os que possuem menos registros compilados: as atividades de ‘pré-montagem de suporte de módulo’, ‘torque de cabeça de estaca’ e ‘torque de sela’ possuem dois registros apropriados cada; ‘instalação de atuador’ e ‘içamento de *main-beam*’, possuem apenas um registro apropriado cada. Devido à quantidade escassa de registros para essas atividades, o valor mediano da produtividade pode estar enviesado, o que também explicaria esse ganho de produtividade.

Para cada atividade foi plotado um gráfico em que os pontos representam os valores de mediana da RUP para cada dia da semana, obtidos para cada atividade, apresentado na Figura 49. As barras representam o intervalo onde 95% dos valores estão presentes nesta categoria (dia da semana).

Figura 49: Gráficos por atividade: RUP x Dia da Semana





A tendência de iniciar uma nova semana com uma produtividade ruim, melhorar o índice ao longo da semana e novamente terminar a semana útil em uma produtividade baixa pode ser observada na maioria das atividades. O início de semana ruim pode ser explicado pela adaptação dos líderes e operários para ao planejamento estipulado para a semana referente; ao se habituarem a esse regime, a produtividade segue em uma crescente até quinta-feira, para depois piorar novamente devido ao cansaço de equipe.

Esse não é um padrão que se verifica em todos os casos, que necessita de maior investigação com a compilação de uma quantidade maior de registros, principalmente de atividades realizadas aos finais de semana.

4.2.2 Climático

Quanto às variáveis classificadas como climáticas, a distribuição para as atividades foi no geral aderente à normal para os fatores de ‘temperatura máxima’, ‘temperatura média’ e ‘vento médio’, enquanto aderente para poucas atividades em ‘insolação’ e ‘precipitação’.

A Tabela 6 apresenta o resultado dos testes de correlação entre a produtividade de mão de obra das atividades propostas e os dados climáticos coletados em estação

meteorológica que foram aderentes à curva normal esperada. Apenas os resultados superiores à correlação negligenciável ($>0,300$) estão apresentados.

Tabela 6: Resultados das correlações de fatores climáticos

Índice	Atividade	n	RUP mín.	RUP med.	RUP máx.	Var.	Unid.	Temperatura máxima (°C)	Temperatura média (°C)	Vento médio (m/s)
1.1.4	CRAVAÇÃO	109	0,030	0,272	0,881	29.4x	Hh/Unid.			
1.2.1	PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA	44	0,255	0,714	3,740	14.7x	Hh/trck			
1.2.2	PRÉ-MONTAGEM DE SELA	40	0,283	1,007	3,582	12.7x	Hh/trck			
1.2.3	PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO	43	0,196	1,273	4,810	24.5x	Hh/trck			
1.3.1	TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA	41	0,097	0,898	3,030	31.2x	Hh/trck			
1.3.2	TORQUE DE SELA	29	0,061	0,403	2,500	41.0x	Hh/trck			
1.3.3	INSTALAÇÃO DE ATUADOR	29	0,180	0,551	1,188	6.6x	Hh/trck			
1.3.4	IÇAMENTO DE MAINBEAM	44	0,060	0,642	2,663	44.4x	Hh/trck			
1.3.5	MONTAGEM DE GRAVATA	66	0,610	1,766	3,690	6.0x	Hh/trck			
1.3.6	TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO	67	0,500	1,579	3,871	7.7x	Hh/trck			
1.4	MONTAGEM DE MÓDULO	47	0,036	0,163	0,254	7.1x	Hh/Unid.	-0,494	-0,563	0,482

Nota-se que a maioria dos resultados das correlações foi classificada como ‘negligenciável’, o que denota uma baixa influência da temperatura e vento para a variação da produtividade das equipes. A única atividade que apresenta correlação significativa com os fatores é ‘montagem de módulo’.

4.2.2.1 Insolação

A Figura 50 apresenta o histograma dos dados coletados com base no total de horas de sol registradas em cada dia.

Figura 50: Número de dias classificados pela quantidade de horas de sol por dia



Devido a características climáticas decorrentes da localização geográfica do empreendimento, nota-se que a prevaescem dias com insolação entre 8h e 12h, em uma

distribuição não-gaussiana. Para que este índice possa ser utilizado da maneira adequada com o intuito de se obter resultados conclusivos do impacto da insolação solar na produtividade da obra, deve-se compilar dados de obras realizadas em localidades variadas e com características climáticas distintas; nesse caso, em locais onde a incidência solar é mais reduzida. Tais dados, desde que apresentem distribuição normal, refletiriam condições específicas da localidade, sendo possível realizar o cálculo de índices de correlação avaliando o possível impacto na produtividade decorrente da ocorrência maior ou menor de sol.

Contudo, devido à característica de uma UFV, que depende fundamentalmente de uma insolação elevada, não se espera que os dados propostos sejam levantados com muita frequência. Dessa forma, entende-se que esse fator é pouco significativo para a correlação com a produtividade das equipes, e o planejamento deve-se dar sempre considerando uma incidência elevada de sol.

4.2.2.2 Precipitação

O planejamento da obra leva em conta a existência de período chuvoso, previsto com base no histórico de trinta anos de chuvas, coletado em estações pluviométricas da região. Também é feita uma análise de volume de chuva diário, para se definir quantos dias aptos para produção ocorrerão no mês: dias de precipitação inferior à 2 mm são classificados como dias produtivos. Esse pré-dimensionando é essencial para se obter a escala da perda de produtividade que ocorrerá neste período. A Tabela 7 expõe a quantidade real de dias de chuva ocorridos no período de análise, e o total precipitado, em milímetros.

Tabela 7: Dias de chuva por mês analisado

Mês	Dias trabalhados	Precipitação total (mm)	Dias de chuva	Precipitação média (mm/dia de chuva)	Dias improdutivos (>2mm/dia)	Dias produtivos (%)
Abril	17	42,4	4	10,6	4	76
Mai	21	21,4	5	4,3	5	76
Junho	26	5,6	2	2,8	2	92
Julho	26	0,0	0	0,0	0	100
Agosto	23	1,0	1	1,5	0	100
Setembro	25	1,5	1	1,5	0	100
Total	138	66,3	13	5,1	11	92

Durante todo o período, em apenas 11 dias foi registrada chuva significativa na região de análise, referente a 8% do total de dias. Ainda, analisando pela precipitação média ocorrida em cada dia em que choveu, percebe-se que apenas em abril (último mês do período molhado) se registrou alguma chuva considerável (média de 10,6mm por dia de chuva), suficiente para causar impactos nas produtividades das equipes.

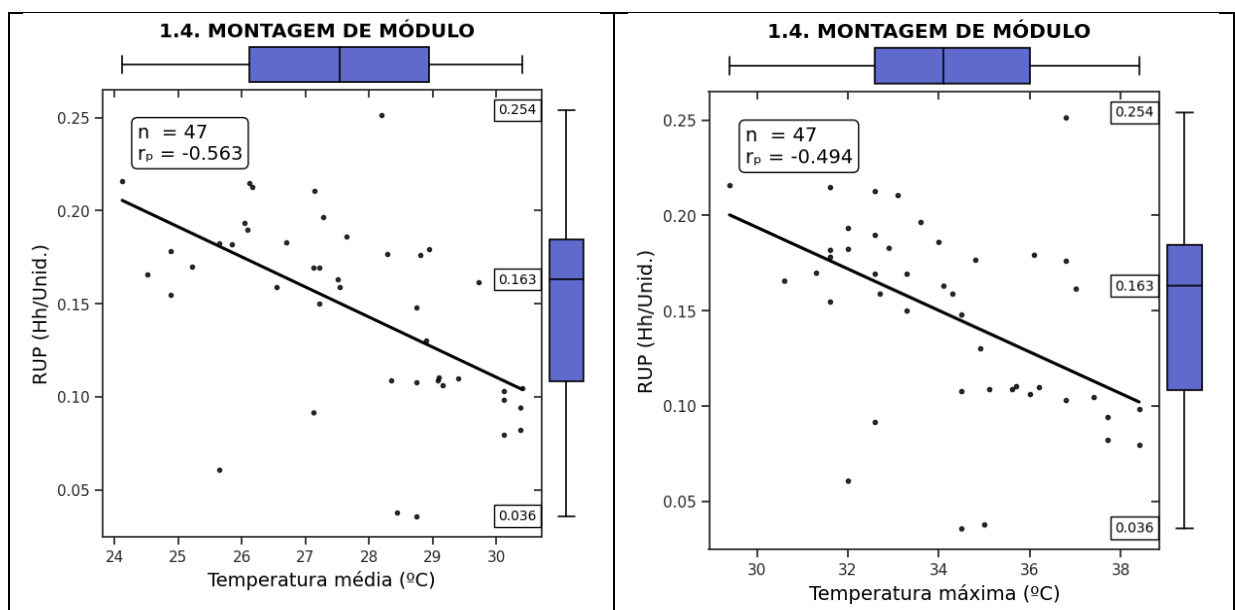
Dessa forma, os dados coletados são insuficientes para que se correlacione com a produtividade das equipes e obtenha-se um resultado assertivo. Essa constatação é aderente ao pequeno quantitativo de horas improdutivas climáticas encontrado.

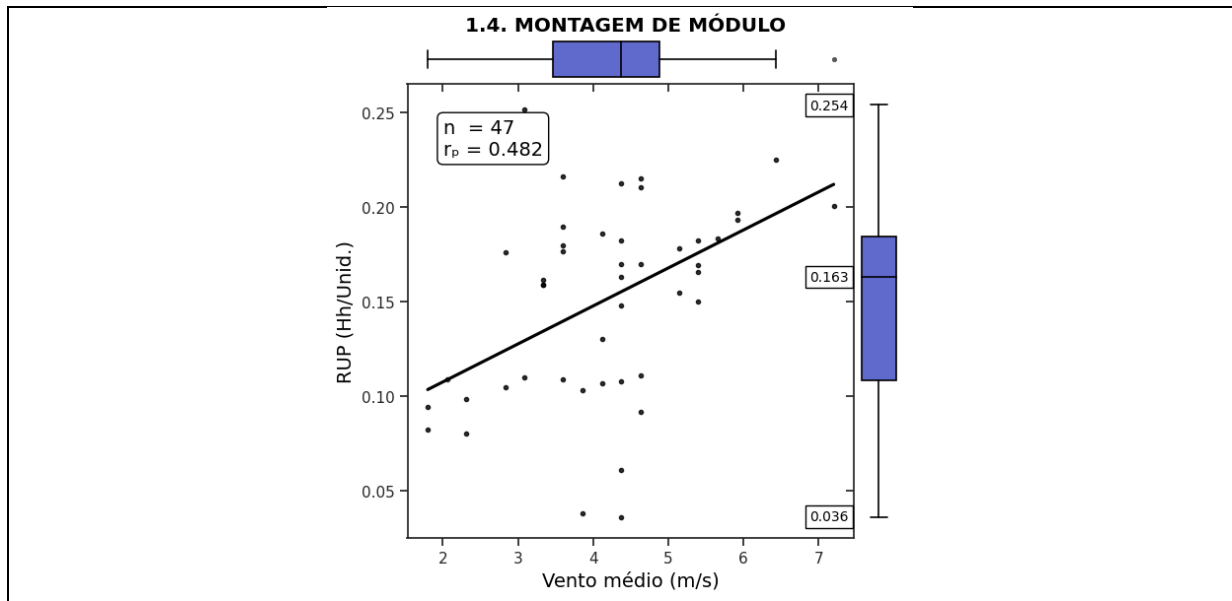
Para que se obtenham resultados significativos do impacto da chuva na produtividade da obra, uma proposta seria analisar o impacto na produtividade pós dias de chuva, onde o efeito climático do dia anterior poderia dificultar as condições de trabalho. Este poderia ser interpretado como redundante em relação ao fator ‘Horas improdutivas climáticas’, porém focado no quantitativo de chuva registrado pelo pluviômetro, mais facilmente correlacionável à base histórica e à previsões climáticas futuras.

4.2.2.3 Temperatura média, temperatura máxima e vento médio

A atividade ‘montagem de módulo’ foi a única a apresentar correlação elevada para as três variáveis restantes. Para cada fator analisada foi plotado um gráfico de dispersão, onde a linha representa a regressão dos valores para o primeiro grau, apresentado na Figura 51.

Figura 51: Gráficos da produtividade de montagem de módulo por fatores climáticos





Visto a redundância intrínseca aos fatores de temperatura média e máxima, estes serão analisados juntamente. Verifica-se: correlação indireta entre a temperatura e a RUP, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a RUP, representando melhor produtividade; e correlação direta entre o vento médio e a RUP, ou seja, quanto mais vento, maior a RUP, representando pior produtividade.

Considerando os pontos elencados, entende-se que os índices de correlação obtidos, mesmo que de magnitude considerável, não são suficientes para atestar causalidade entre os fatores. Contudo, a correlação existe, e recomenda-se para que se ateste com convicção causalidade entre os fatores, o indicado é compilar dados de outras obras, expostas a diversas condições climáticas, resultando em base de dados normalizada e com maior sensibilidade.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente capítulo será dedicado à apresentação das conclusões obtidas com base nas análises realizadas no trabalho, além de propor sugestões de melhorias para trabalhos futuros.

Considera-se cumprido o objetivo geral do trabalho: analisar o impacto de fatores influenciadores na produtividade da mão de obra das atividades de montagem mecânica em uma usina solar fotovoltaica de geração centralizada. Quanto aos objetivos específicos, também pode-se considerá-los cumpridos. A compilação dos dados foi realizada cruzando as apropriações de mão de obra com a produção realizada da planilha de avanço físico da obra; a primeira possuindo abertura ao nível de frente de serviço, enquanto a segunda, apenas do parque e subcampo. Essas foram relacionadas às fontes de dados externas, onde verificou-se a aderência dos dados pra obtenção dos índices de correlação. Esse processo se deu através de algoritmo computacional de análise estatística de dados (objetivo específico “a”). Ao longo do trabalho, conforme dificuldades e impeditivos para a análise dos dados foram identificados, foram elencadas boas práticas a serem seguidas para sua realização (objetivo específico “c”). Para os fatores influenciadores analisados (objetivo específico “b”), constatou-se que:

- ‘tamanho da equipe’ e ‘dia da semana’ foram muito relevantes para a produtividade das equipes;
- ‘temperatura média’, ‘temperatura máxima’ e ‘vento médio’ foram relevantes para a produtividade das equipes apenas na atividade ‘montagem de módulo’;
- ‘horas improdutivas administrativas’ foi pouco relevante para a produtividade das equipes;
- Os demais fatores foram irrelevantes ou apresentaram poucos dados para uma constatação mais embasada.

A escassa literatura a respeito do tema abordado foi um grande dificultador na realização do trabalho, e espera-se que as conclusões explicitadas a seguir sejam relevantes na maturação do tema na academia.

5.1 Conclusões

5.1.1 Do modelo de análise e da estruturação dos dados

Em relação ao processo de estruturação do algoritmo computacional de análise estatística de dados, foram identificados alguns pontos de atenção:

- a incompatibilidade das EAPs de avanço físico e de apropriação das horas da mão de obra acarretou o agrupamento das UAs, causando perda da granularidade dos dados coletados para a apropriação das horas. A adequação de todas as ferramentas de controle da obra em uma mesma estrutura EAP é fundamental para que todos os dados coletados sejam utilizados ativamente na operação do empreendimento e como gestão de conhecimento da empreiteira;
- o sistema de apropriação de produção foi subutilizado. Apesar de coletado em campo, este não era retificado no mesmo nível de detalhamento e não passou pelo processo de aprimoramento via *feedbacks* ocorrido para os dados apropriação das horas de MO;
- como um modelo estatístico, entende-se que demais variáveis não metrificadas nesse trabalho são constantes em qualquer frente de serviço. Essa simplificação da situação real se dá visto a impossibilidade de se aferir todas as alterações no ambiente analisado. Assim, a agregação de mais variáveis deixa o modelo cada vez mais robusto;
- devido à proposta de abordagem ser baseada no histórico da produção realizada em uma obra, constata-se que o modelo utilizado não é sensível a mudanças nas técnicas para realização das atividades propostas, visto que diferentes metodologias podem ser influenciadas de maneira singular da constatada pelos resultados apresentados;
- a abordagem estatística proposta não pôde ser utilizada para a maioria das variáveis, principalmente devido à baixa quantidade de registros e sua distribuição não-gaussiana. Recomenda-se uma coleta de dados mais robusta, que resultará em uma análise mais aprofundada;
- a validação da correlação realizada deve ser feita com cautela, pois esta não denota necessariamente causalidade entre as variáveis. Assim, a validação prática das proposições deve ocorrer ao se obter um conjunto maior de dados que as reafirmem.

5.1.2 Dos fatores influenciadores propostos

Em relação aos fatores influenciadores propostos na seção 3.2.3, pode-se concluir que:

- a escolha das variáveis deve ser entendida como limitação no escopo da pesquisa desde seu início: os fatores analisados neste trabalho não são necessariamente os fatores que mais influenciam, mas sim, são os que puderam ser quantificados e associados com clareza aos serviços propostos, resultando em valores confiáveis.
- quanto ao **tamanho das equipes**, as atividades que contaram com frentes de serviço com maior número de colaboradores resultaram em valores piores de RUP;
- quanto aos **dias da semana**, observou-se uma melhor produtividade aos sábados, quando a produção se faz necessária para cumprimento de metas estipuladas. Em relação à semana útil de trabalho, se percebe uma pior produtividade mediana às segundas feiras, que tende a melhorar ao longo da semana. É interessante se aprofundar nos fatores que fazem o trabalho durante o final de semana apresentar uma produtividade melhor, para replicá-los para os demais dias;
- o pequeno número de registros contendo quantitativos de **horas improdutivas climáticas** denota um bom planejamento da obra em relação a esse tema, visto que as atividades ocorreram majoritariamente no período seco para a região onde a obra se localiza, implicando em poucos contratempos em razão da chuva. Esse argumento se reforça pela pequena quantidade de dias registrados com **chuva** superior à 2mm, sendo aderente ao planejamento climático realizado;
- o pequeno número de registros contendo quantitativos de **horas improdutivas de produção** denota um bom gerenciamento na alocação de pessoal, pois ao se deparar com situações em que o trabalho na frente de serviço seria inviável por problemas de produção, os operários eram remanejados à outras frentes de serviço, minimizando o tempo ocioso;
- em relação aos fatores ambientais, a **insolação** não é um parâmetro relevante à análise, pois, devido a caracterização fundamental das obras de UFVs de GC, estas sempre se localizarão em regiões onde a insolação é intensa;
- quanto aos percentuais de **horas improdutivas administrativas** não apresentaram correlação significativa com a produtividade das atividades. Contudo, uma maior quantidade de registros deve ser levantada para que se afirme tal preposição com maior nível de certeza. O mesmo se pode dizer dos fatores relacionados à

temperatura e ao **vento**, que apresentaram alta correlação apenas para a atividade de montagem de módulo.

5.2 Sugestões de melhoria para trabalhos futuros

- Utilização de modelos de correlação mais complexos, como modelos não lineares, ou de correlação entre múltiplos fatores, para que se verifiquem casos de multicolinearidade e de influência entre os fatores;
- Agregação de dados de outras obras a este mesmo modelo computacional, enriquecendo a base de dados e implicando em resultados mais robustos;
- Aprofundar a análise dos valores que não apresentaram distribuição normal em relação ao fator influenciador, utilizando estatística robusta.
- Consideração de fatores influenciadores para pontos de vista e categorias que não foram analisadas neste trabalho, por razão de limitação do escopo de pesquisa. Como fatores influenciadores propõe-se:
 - Comparação entre diferentes técnicas construtivas;
 - Comparação entre diferentes composições utilizadas para a mesma atividade;
 - Comparação entre atividades realizadas como retrabalho ou não;
 - Correlação com resultados das sondagens de solo (cravação);
 - Ocorrência de falta de material;
 - Ocorrência de quebra de equipamento;
 - Ocorrência de atraso no fornecimento de materiais;
 - Capacitação de líderes e operários;
 - Quantificação de horas de treinamento em segurança;
 - Quantificação de acidentes ocorridos nas frentes de serviço;
 - Diferentes medidas utilizadas para contenção dos impactos da pandemia de Covid-19.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil - Infográfico ABSOLAR**

Disponível em: <absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 06 nov. 2022

AKBAR, M.; DARKWAH, K. K.; AMIN, A.; HUALI, P.; GUOQIANG, O., ASGHAR, M. **The factors affecting labour productivity in the construction of prestressed concrete buildings in Ghana.** 2021.

Disponível em: <<https://www.preprints.org/manuscript/202104.0147/v1>>. Acesso em: 02 ago. 2022

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**

Disponível em: <aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2022

AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M. **Imagining construction's digital future.** 2016

Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>>. Acesso em: 18 ago. 2022

CROUX, C.; DEHON, C. **Influence functions of the Spearman and Kendall correlation measures.** 2010

Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10260-010-0142-z.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2022

EDELMANN, D.; MÓRI, T.; SZÉKELY, G. **On relationships between the Pearson and the distance correlation coefficients.** 2020

Disponível em:

<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0167715220302637?token=81878CFBFEF0C3C3B67AB4FE2211A8917950E265349FCEA57E560DC3BC628796F9BEF2511421D9AEA0D148C83874AC55&originRegion=us-east-1&originCreation=20220623215844>>. Acesso em: 07 jul. 2022

EPE. **Balanco Energético Nacional 2022.**

Disponível em: <epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2022

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 - Demanda e Eficiência Energética.**

Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno%20de%20Efici%C3%Aancia%20e%20Demanda%20-%20PDE%202031.pdf#search=demanda>>. Acesso em: 30 jun. 2022

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.**

Disponível em: <epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 12 jun. 2022

HAFEZ, S. M.; AZIZ, R. F.; MORGAN, E. S.; ABDULLAH, M. M.; AHMED, E. K. **Critical factors affecting construction labor productivity in Egypt**. 2014

Disponível em:

<<https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo.aspx?journalid=229&doi=10.11648/j.ajce.20140202.14>>. Acesso em: 25 jun. 2022

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S.G. **Applied Statistics for the Behavioral Sciences, 5th ed.** 2003

HERNANDEZ, R. R. et al. **Environmental impacts of utility-scale solar energy**. 2013.

IBGE. **Cidades e Estados**.

Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/caldeirao-grande.html>>.

Acesso em: 02 jul. 2022

ILSE. **The Interactive Learning System for Renewable Energy**, Institute of Electrical Power Engineering, Renewable Energy Section, Technical University of Berlin

Disponível em: <http://emsolar.ee.tu-berlin.de/~ilse/>

Acesso em: 12 dez. 2022

IMHOFF, Johninon. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2007. Universidade Federal de Santa Maria.

Disponível em:

<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 jul. 2022

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia**

Disponível em: <bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 06 nov. 2022

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar: 2ª Edição**. 2017. 59p.

Disponível em: https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf

Acesso em: 14 jul. 2022

Lazard. **Levelized Cost Of Energy, Levelized Cost Of Storage, and Levelized Cost Of Hydrogen**. 2021

Disponível em: <<https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>>. Acesso em: 08 jul. 2022

MANZANO, J. A. N. G. **Revisão e Discussão da Norma ISO 5807 - 1985 (E) Proposta para Padronização Formal da Representação Gráfica da Linha de Raciocínio Lógico Utilizada no Desenvolvimento da Programação de Computadores a ser Definida no Brasil**. 2004

Disponível em: <http://www.cantareira.br/thesis2/ed_1/1_navarro.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2022

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. GTES/CRESESB. 2014

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.

Acesso em: 02 dez. 2022

RODRIGUES, Luiza Faggion. **Análise do planejamento de atividades complexas na construção de usinas fotovoltaicas**. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina.

SALVADOR, Marina. **Análise de produtividade da mão de obra na execução de obras de usinas fotovoltaicas de solo**. 2022. Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHMITT, Eduarda. **Produtividade na execução de gabiões em obras de drenagem em usina solar fotovoltaica**. 2022. Universidade Federal de Santa Catarina.

SOUSA, Áurea. **Coefficiente de Correlação de Pearson e Coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados?** 2019

Disponível em:

<https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/5365/1/Sousa_CA_21%20Mar%c3%a7o%202019.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2022

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes. **Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil**. 2006

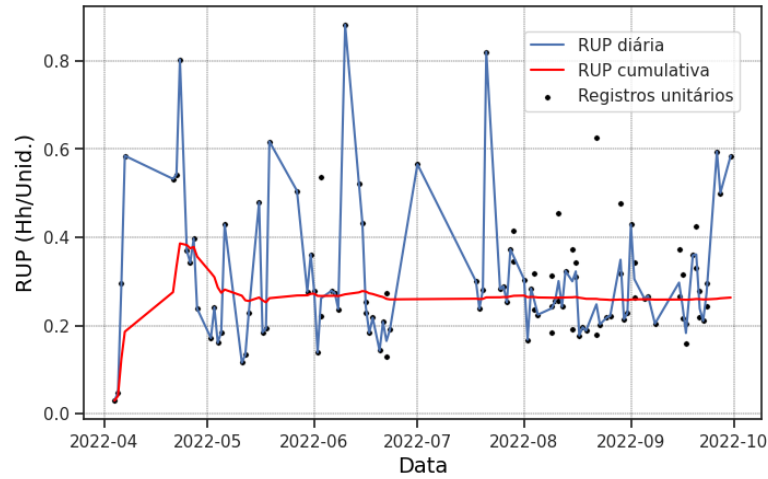
THOMAS, H. R.; YAKOUMIS, I. **Factor model of construction productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 113 No. 4. ASCE. 1987.

ANEXO A - GLOSSÁRIO DA EMPRESA

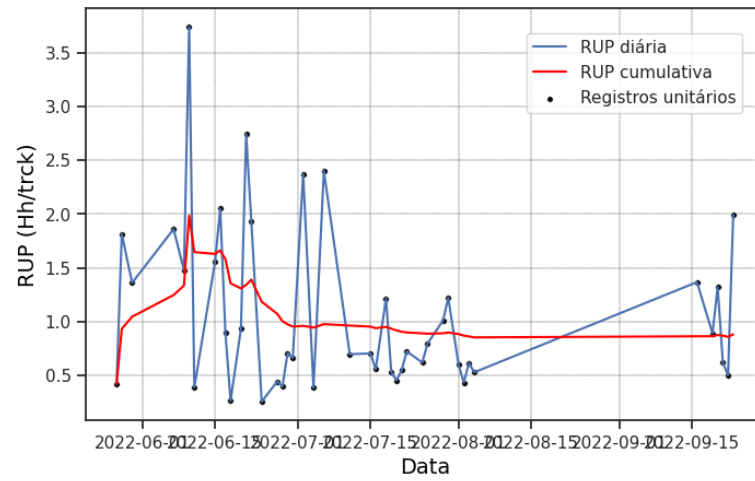
Equipe de QSMS	Equipe de Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde; denominação da equipe responsável por esses temas segundo o Sistema Integrado de Gestão.
Diálogo Diário de Segurança (DDS)	Reunião sobre o tópico segurança para alinhamento entre líderes e operários. Possui caráter diário, ocorrendo imediatamente antes do deslocamento para a frente de serviço. Nesse momento é preenchido o PDS (Planejamento Diário de Segurança), que tem como finalidade servir como checklist de conferência das condições de segurança na frente de serviço.
Stop Work	Mecanismo elaborado pela empresa para assegurar trabalho seguro na frente de serviço. Pode ser ativado por qualquer colaborador, à qualquer momento, quando este verifica alguma inconformidade que possa afetar sua segurança ou de outros colaboradores. A frente de serviço é imediatamente paralisada até que se cumpram os requisitos.

ANEXO B – RUPD E RUPCUM AO LONGO DO TEMPO PARA CADA ATIVIDADE

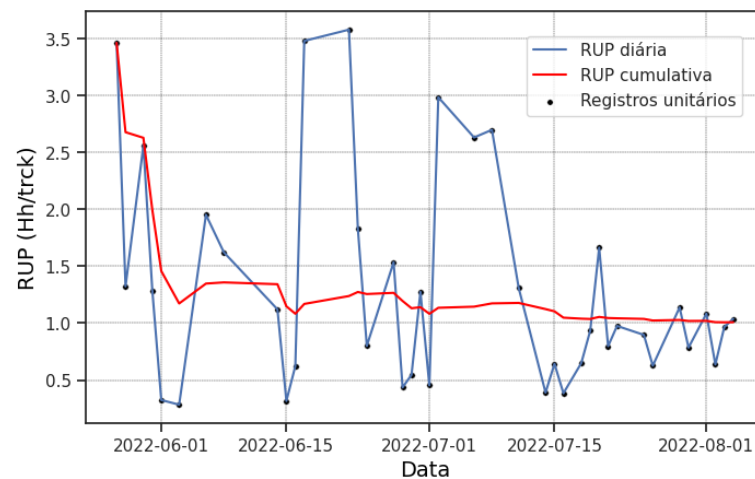
1.1.4. CRAVAÇÃO



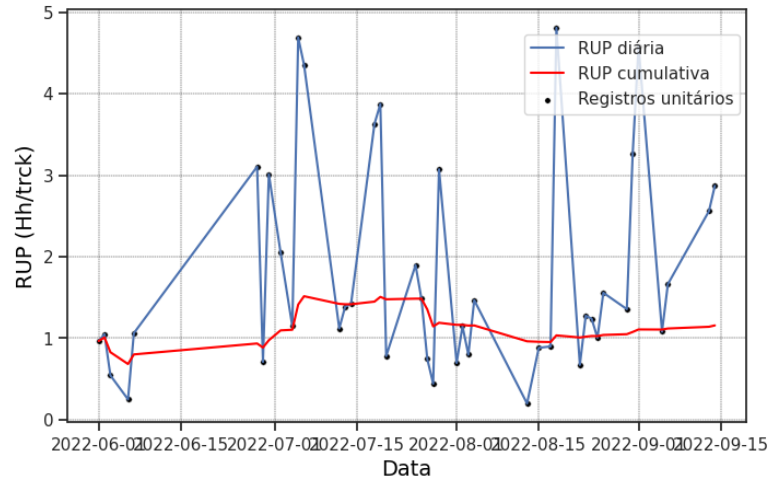
1.2.1. PRÉ-MONTAGEM DE CABEÇA DE ESTACA



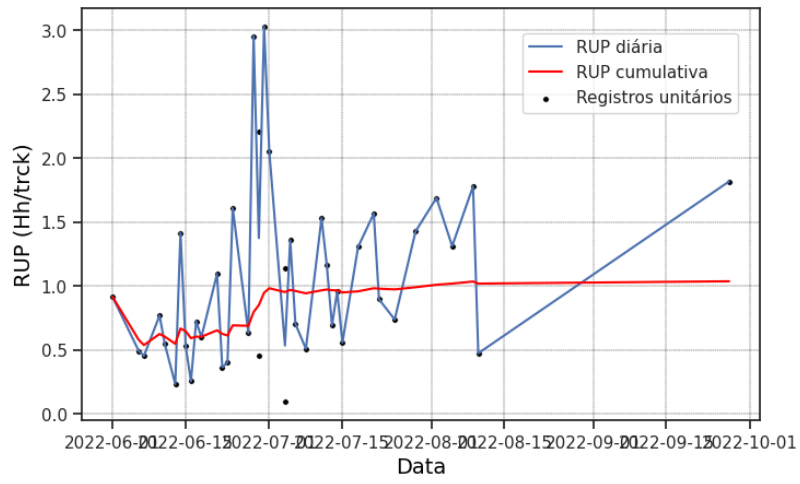
1.2.2. PRÉ-MONTAGEM DE SELA



1.2.3. PRÉ-MONTAGEM DE SUPORTE DE MÓDULO

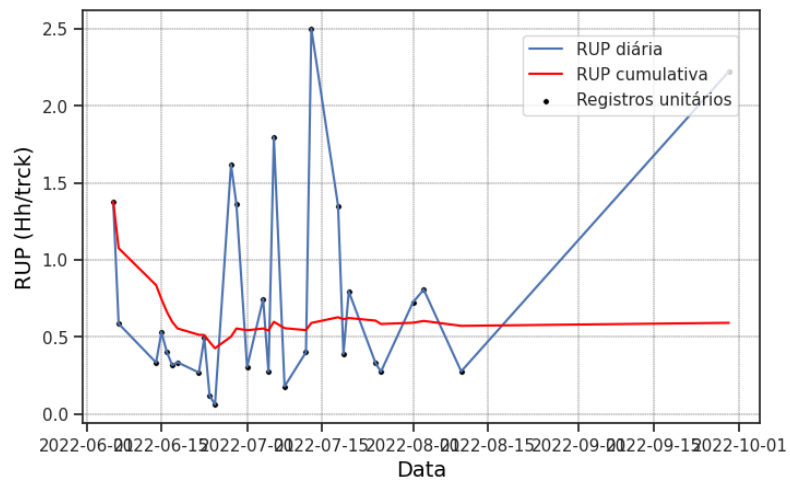


1.3.1. TORQUE DE CABEÇA DE ESTACA

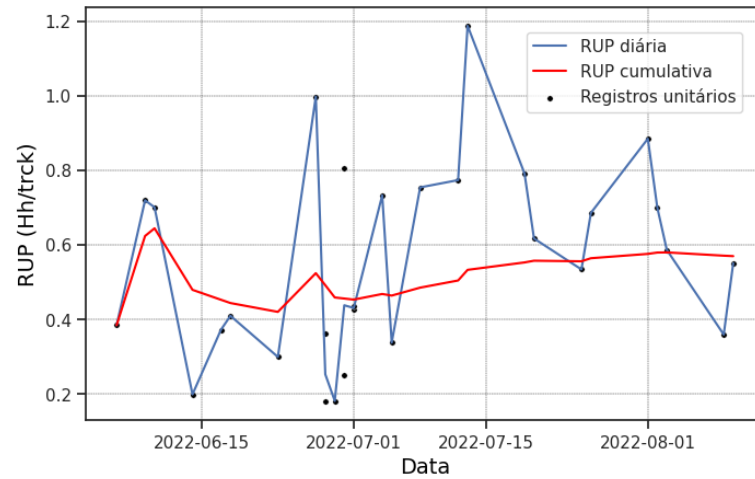


7

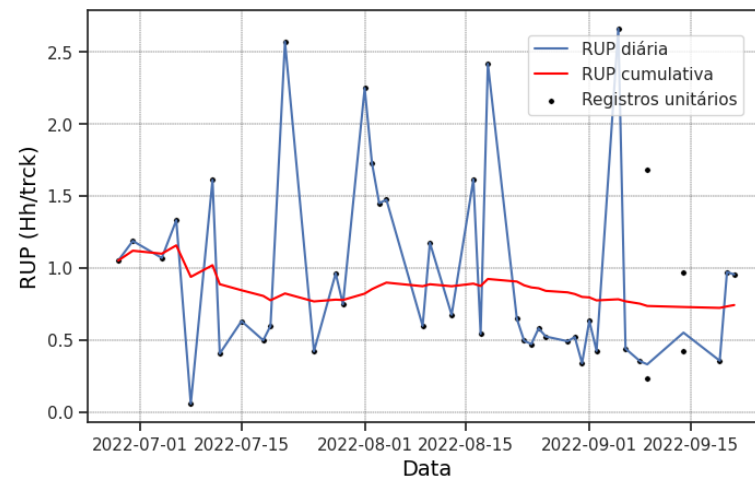
1.3.2. TORQUE DE SELA



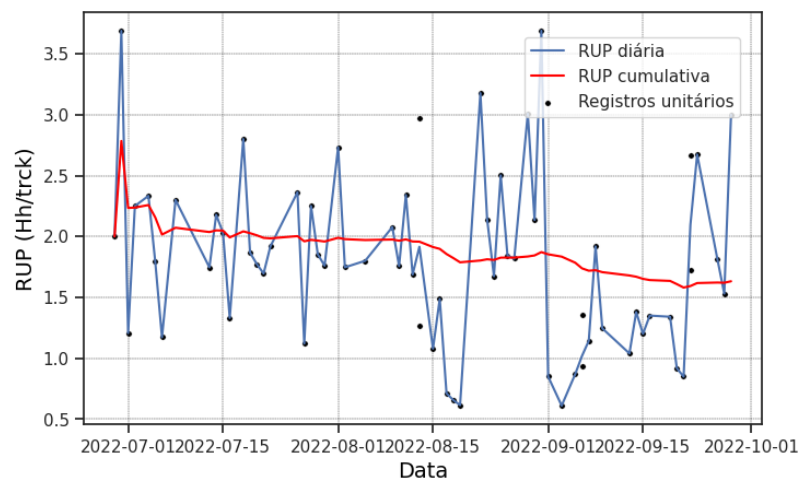
1.3.3. INSTALAÇÃO DE ATUADOR



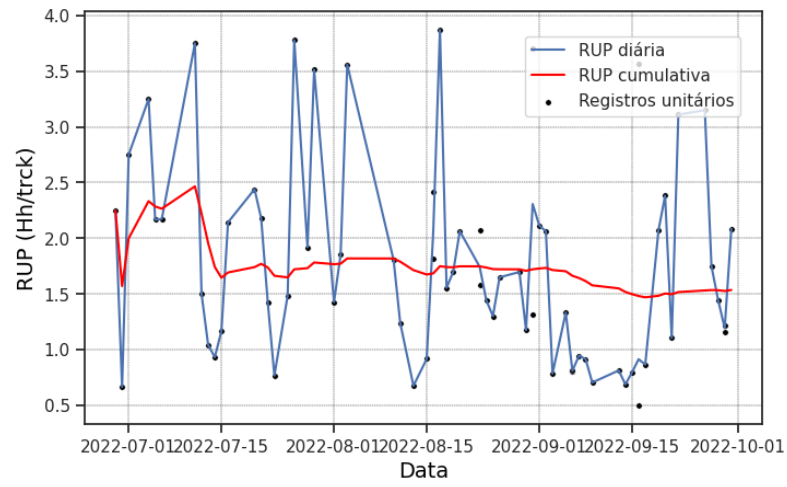
1.3.4. IÇAMENTO DE MAINBEAM



1.3.5. MONTAGEM DE GRAVATA



1.3.6. TORQUE DE SUPORTE DE MÓDULO



1.4. MONTAGEM DE MÓDULO

