



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

EZEQUIAS JOÃO MARQUES DE AMORIM FILHO

**PROJETO DE UM EVAPORADOR SOLAR PARA A REDUÇÃO DO VOLUME DE
EFLUENTES ORIGINADOS DOS LABORATÓRIOS DO LITPEG-UFPE**

RECIFE - PE
2024

EZEQUIAS JOÃO MARQUES DE AMORIM FILHO

**PROJETO DE UM EVAPORADOR SOLAR PARA A REDUÇÃO DO VOLUME DE
EFLUENTES ORIGINADOS DOS LABORATÓRIOS DO LITPEG-UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof^ª. Dr. Janaina Moreira de Meneses.

RECIFE - PE
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Amorim Filho, Ezequias João Marques de .

Projeto de um evaporador solar para a redução do volume de efluentes
originados dos laboratórios do LITPEG-UFPE / Ezequias João Marques de
Amorim Filho. - Recife, 2024.

116 p.

Orientador(a): Janaina Moreira de Meneses

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica -
Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. Evaporador solar. 2. Concentrador solar. 3. Processos de
desenvolvimento de produto. 4. Efluentes. 5. Sustentabilidade. I. Meneses,
Janaina Moreira de . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

EZEQUIAS JOÃO MARQUES DE AMORIM FILHO

**PROJETO DE UM EVAPORADOR SOLAR PARA A REDUÇÃO DO VOLUME DE
EFLUENTES ORIGINADOS DOS LABORATÓRIOS DO LITPEG-UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 21/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Janaina Moreira de Meneses. (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Fernando Roberto Pereira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcele Elisa Fontana (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante esta jornada acadêmica. Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e oportunidades para alcançar este objetivo.

À minha mãe, por seu amor incondicional, apoio constante e sacrifícios incansáveis ao longo dos anos. Suas palavras de encorajamento foram minha fonte de inspiração durante os momentos desafiadores.

À minha querida avó, que, embora tenha nos deixado em 2012, é parte integrante desta conquista. Ela testemunhou meu crescimento físico e pessoal, contribuindo imensamente para a pessoa que me tornei. Sempre depositou sua confiança em meu potencial e celebrou minhas realizações. Foi ela quem me ensinou a rezar e cultivar a fé. Durante toda a minha jornada acadêmica, sua presença permaneceu viva em meu coração, fortalecendo-me com as lembranças e palavras que guardo com carinho. Tenho certeza de que, se estivesse aqui, estaríamos celebrando juntos com muita euforia, como fazíamos durante os jogos da seleção brasileira, principalmente naquela copa de 2006.

Às minhas irmãs, Jordanna e Ellie, pelo incentivo, pelos momentos de alegria em minhas voltas ao interior do estado, pelo cuidado e zelo que sempre tiveram. Saber que vocês estão ao meu lado, torcendo por mim e acreditando nos meus propósitos, foi fundamental para me manter motivado e determinado a alcançar meus objetivos.

Ao meu tio Carlos que me viu crescer e me tornar um homem. Que esteve comigo, com minha mãe e minhas irmãs nos momentos mais difíceis. Que se tornou um pilar essencial em toda minha trajetória. Muito obrigado por estar sempre ao meu lado e não medir esforços sempre que precisei.

À minha família presente em Cupira e Lagoa dos Gatos, em particular à minha tia Cida, que desempenhou um papel fundamental em nosso ambiente familiar. Ela sempre nos acolheu calorosamente e fez com que sentíssemos a presença constante da minha avó toda vez que visitávamos sua casa.

À Alice, por estar ao meu lado, compreendendo as horas dedicadas aos estudos, estudando ao meu lado, compartilhando momentos de alegria e de frustrações, mas sempre me incentivando a dar o meu melhor. Agradeço de coração por ser tão especial em minha vida e nunca me deixar desistir ou desanimar.

Ao meu pai, que mesmo à distância, demonstrou constante admiração, respeito e afeto por todas as minhas conquistas até hoje.

Aos meus amigos, por estarem sempre ao meu lado, compartilhando risadas, oferecendo ombro amigo e incentivando meu crescimento. Sua amizade foi um pilar de apoio essencial ao longo dessa jornada.

À Universidade, pelos recursos oferecidos, pelo conhecimento transmitido e pelas oportunidades de crescimento pessoal e profissional. Sou grato pela experiência enriquecedora que tive ao longo desses anos.

Por fim, aos meus professores, em especial a minha orientadora, pela dedicação, orientação e conhecimento compartilhado. Suas lições foram fundamentais para meu desenvolvimento acadêmico e profissional, e sou imensamente grato por seu comprometimento em me ajudar a alcançar meu potencial máximo.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado. Sem o apoio e incentivo de cada um, esta conquista não seria possível. Que possamos continuar crescendo e aprendendo juntos, enfrentando novos desafios e celebrando nossas vitórias.

RESUMO

O tratamento adequado dos efluentes químicos laboratoriais é essencial para a preservação do meio ambiente e a evaporação solar emerge como uma alternativa econômica e ecológica para este fim. Assim, o objetivo central do trabalho foi projetar um evaporador solar para concentrar efluentes químicos oriundos dos laboratórios químicos do LITPEG-UFPE (Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia) para agir como um tratamento preliminar antes do descarte final. Para tal, foi utilizada uma metodologia de desenvolvimento de produto subdividida nas etapas de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. O processo segue as etapas previamente definidas, começando pela coleta de informações teóricas, avançando para a determinação do tipo de evaporador e culminando no detalhamento completo do projeto.

Palavras-chave: Evaporador solar; Concentrador solar; Processos de desenvolvimento de produto; Efluentes; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The proper treatment of laboratory chemical effluents is essential for environmental preservation, and solar evaporation emerges as an economical and ecological alternative for this purpose. Thus, the central objective of the work was to design a solar evaporator to concentrate chemical effluents from the chemical laboratories of LITPEG-UFPE (Institute of Petroleum and Energy Research) to act as a preliminary treatment before final disposal. To achieve this, a product development methodology was used, subdivided into the stages of informational, conceptual, preliminary, and detailed design. The process follows the previously defined stages, starting with the collection of theoretical information, moving on to the determination of the type of evaporator, and culminating in the complete detailing of the project.

Keywords: Solar evaporator; Solar concentrator; Product development processes; Effluents; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de condução de calor entre placas planas e paralelas.	18
Figura 2 - Faixa de condutividade térmica de grupos de materiais	19
Figura 3 - Transferência de calor por convecção	20
Figura 4 - Distribuição de taxa de incidência, absorvida e refletida.....	23
Figura 5 - Transferência de calor por radiação entre superfícies	24
Figura 6 - Relação fotoperíodo ao longo dos meses em diferentes latitudes	25
Figura 7 - Configuração do evaporador de circulação natural.....	27
Figura 8 - Evaporador de circulação forçada	28
Figura 9 - Evaporador do tipo película ascendente	29
Figura 10 - Evaporador do tipo película descendente	30
Figura 11 - Evaporador solar aberto.....	31
Figura 12 - Evaporador de Efeito Simples.....	31
Figura 13 - Evaporador solar de Efeito Múltiplo	32
Figura 14 - Evaporador Solar de Mechas.....	33
Figura 15 - Concentrador solar plano.....	34
Figura 16 - Concentrador solar tipo Calha-Cilindro	35
Figura 17 - Concentrador solar tipo disco	36
Figura 18 - Concentrador solar tipo torre	37
Figura 19 - Comparativo lente de Fresnel e convencional	38
Figura 20 - Etapas de desenvolvimento de produtos	39
Figura 21 - Estrutura do Processo de Projeto de Produtos (Coryell, 1967).....	40
Figura 22 - Processos de Desenvolvimento de Produto	41
Figura 23 - Funil de Desenvolvimento de Produto (Rozenfeld, 2006)	43
Figura 24 - Níveis e etapas realizadas no trabalho	44
Figura 25 – Desenvolvimento do produto: Etapas e Microetapas	45
Figura 26 - Layout do ES - 1	48
Figura 27 – Layout ES - 2	49
Figura 28 - Layout ES - 3	50
Figura 29 - Concentradores solar x Temperatura.....	57
Figura 30 - Distribuição dos subsistemas do projeto conceitual.....	63
Figura 31 – Layout preliminar do suporte do concentrador	65
Figura 32 - Detalhe do mecanismo de regulagem.....	65

Figura 33 – Layout preliminar do reservatório	66
Figura 34 - Bomba centrífuga.....	67
Figura 35 - Disposição do bombeador na casa de bomba	67
Figura 36 - Sistema gotejador/distribuidor.....	68
Figura 37 - Gotejador regulável.....	69
Figura 38 - Placa xadrez de alumínio.....	69
Figura 39 - Suporte (a) e Regulador (b) da placa xadrez	70
Figura 40 - Layout do carro de plataforma	71
Figura 41 - Layout casa de bomba.....	72
Figura 42 - Layout do Evaporador Solar	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de transferência de calor por convecção.....	21
Tabela 2 - Taxa de emissividade de alguns materiais.....	22
Tabela 3 - Necessidade, especificações e metas levantados	51
Tabela 4 - Comparativo dos tipos de evaporadores	52
Tabela 5 - Comparativo dos tipos de concentradores solar	56
Tabela 6 - Comparativo entre os projetos similares: disposição do fluido	59
Tabela 7 - Comparativo dos projetos similares: Isolamento Térmico	60
Tabela 8 - Resultado do Projeto Conceitual	62
Tabela 9 - Estimativa de custos do Evaporador Solar.....	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	18
2.1.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO	18
2.1.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO	20
2.1.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO.....	21
2.1.4 MECANISMOS COMBINADOS.....	24
2.2 ENERGIA SOLAR E RADIAÇÃO SOLAR	24
2.3 EVAPORADORES.....	26
2.3.1 EVAPORADORES DE CIRCULAÇÃO NATURAL.....	26
2.3.2 EVAPORADORES DE CIRCULAÇÃO FORÇADA	27
2.3.3 EVAPORADORES DE PELÍCULA.....	28
2.3.3.1 <i>Ascendente</i>	28
2.3.3.2 <i>Descendente</i>	29
2.3.4 EVAPORADOR SOLAR	30
2.3.4.1 <i>Aberto</i>	30
2.3.4.2 <i>De Efeito Simples</i>	31
2.3.4.3 <i>De Efeito Múltiplo</i>	32
2.3.4.4 <i>De Mecha</i>	32
2.4 CONCENTRADORES SOLAR.....	33
2.4.1 CONCENTRADOR SOLAR PLANO	34
2.4.2 CONCENTRADOR SOLAR DE CALHA PARABÓLICA E CILINDRO.....	35
2.4.3 CONCENTRADOR SOLAR DE DISCO	35
2.4.4 CONCENTRADOR SOLAR TIPO TORRE.....	36
2.4.5 CONCENTRADOR SOLAR TIPO LENTE DE FRESNEL.....	37
3 PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	38
3.1 MODELO DE ROZENFELD	41
4 METODOLOGIA	43
4.1 PRÉ-DESENVOLVIMENTO	44
4.2 DESENVOLVIMENTO	45

4.2.1 PROJETO INFORMACIONAL	46
4.2.2 PROJETO CONCEITUAL	46
4.2.3 PROJETO DETALHADO.....	46
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	47
5.1 PROJETO INFORMACIONAL	47
5.1.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO	47
5.1.2 PESQUISA POR PROJETOS SIMILARES	47
<i>5.1.2.1 Evaporador solar para tratamento de resíduos do método de Mohr (ES-1) .</i>	<i>47</i>
<i>5.1.2.2 Evaporador solar visando a dessalinização da água (ES-2).....</i>	<i>48</i>
<i>5.1.2.3 Evaporador solar para concentração de efluentes químicos (ES-3).....</i>	<i>49</i>
5.1.3 NECESSIDADE, ESPECIFICAÇÕES E METAS	50
5.2 PROJETO CONCEITUAL	51
5.2.1 TIPO DE EVAPORADOR	52
5.2.2 TIPO DE CONCENTRADOR E COLETOR SOLAR	55
5.2.3 ESTUDO DE PROJETOS SIMILARES	58
<i>5.2.3.1 Disposição do fluido no evaporador</i>	<i>58</i>
<i>5.2.3.2 Tipo de isolamento térmico utilizado.....</i>	<i>60</i>
<i>5.2.3.3 Disposição do evaporador com relação aos raios solares.....</i>	<i>61</i>
5.2.4 RESULTADO DO PROJETO CONCEITUAL	62
5.3 PROJETO PRELIMINAR	64
5.3.1 CONCENTRADOR SOLAR.....	64
5.3.2 RESERVATÓRIO	66
5.3.3 BOMBEADOR.....	66
5.3.4 DISTRIBUIDOR	68
5.3.5 PLACA DE ESCOAMENTO.....	69
5.3.6 OUTRAS SEÇÕES	70
<i>5.3.6.1 Carro de plataforma</i>	<i>70</i>
<i>5.3.6.2 Casa de bomba e apoio do reservatório</i>	<i>71</i>
5.4 PROJETO DETALHADO	72
5.4.1 VISÃO DO PRODUTO	72
<i>5.4.1.1 Suporte da Lente de Fresnel.....</i>	<i>73</i>
<i>5.4.1.2 Reservatório e Base do Reservatório</i>	<i>73</i>
<i>5.4.1.3 Sistema Gotejador</i>	<i>73</i>
<i>5.4.1.4 Placa de escoamento</i>	<i>74</i>

5.4.1.5 Carro de plataforma.....	74
5.4.1.6 Visão Geral do Evaporador Solar	74
5.4.2 CUSTO DO EVAPORADOR SOLAR	74
6 CONCLUSÕES	76
6.1 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	76
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICE A – LISTA DE PEÇAS DO SUPORTE DO CONCENTRADOR	83
APÊNDICE B – LISTA DE PEÇAS DO DO RESERVATÓRIO	84
APÊNDICE C – LISTA DE PEÇAS DO SISTEMA GOTEJADOR.....	85
APÊNDICE D – LISTA DE PEÇAS DA PLACA XADREZ.....	86
APÊNDICE E – LISTA DE PEÇAS DO CARRO DE PLATAFORMA	87
APÊNDICE F – LISTA DE PEÇAS DO EIXO GIRANTE TRASEIRO.....	88
APÊNDICE G – LISTA DE PEÇAS DO EIXO DIANTEIRO FIXO.....	89
APÊNDICE H – MONTAGEM GERAL DO EVAPORADOR SOLAR	90
APÊNDICE I – FICHA TÉCNICA DO APOIO DO EIXO DIANTEIRO.....	91
APÊNDICE J – FICHA TÉCNICA DO APOIO DO EIXO TRASEIRO	92
APÊNDICE K – FICHA TÉCNICA DA BASE DE MADEIRA.....	93
APÊNDICE L – FICHA TÉCNICA CHAPA DA BASE	94
APÊNDICE M – FICHA TÉCNICA CHAPA PERFURADA DIREITA.....	95
APÊNDICE N – FICHA TÉCNICA CHAPA PERFURADA ESQUERDA	96
APÊNDICE O – FICHA TÉCNICA DO EIXO DIANTEIRO.....	97
APÊNDICE P – FICHA TÉCNICA DA ARRUELA DE AJUSTE	98
APÊNDICE Q – FICHA TÉCNICA DO EIXO TRASEIRO	99
APÊNDICE R – FICHA TÉCNICA DO GUIA E FRENAGEM	100
APÊNDICE S – FICHA TÉCNICA DA PLACA DESLIZANTE.....	101
APÊNDICE T – FICHA TÉCNICA HASTE GIRATÓRIA DO CONCENTRADOR...102	102
APÊNDICE U – FICHA TÉCNICA DA HASTE FIXA DO CONCENTRADOR	103
APÊNDICE V – FICHA TÉCNICA PORCA DE AJUSTE.....	104
APÊNDICE X – FICHA TÉCNICA DO SUPORTE DA LENTE DE FRESNEL.....	105
APÊNDICE Y – FICHA TÉCNICA SUPORTE VERTICAL DO CONCENTRADOR106	106
APÊNDICE Z – FICHA TÉCNICA HASTE GIRATÓRIA DA PLACA XADREZ.....	107
APÊNDICE AA – FICHA TÉCNICA DA HASTE VERTICAL DA MESA XADREZ.108	108
APÊNDICE BB – FICHA TÉCNICA DA HASTE FIXA DA MESA XADREZ	109
APÊNDICE CC – FICHA TÉCNICA DO SUPORTE DA PLACA XADREZ	110

APÊNDICE DD – FICHA TÉCNICA DA BASE DA BOMBA	111
APÊNDICE EE – FICHA TÉCNICA PAREDE COM RASGO CASA DE BOMBA .	112
APÊNDICE FF – FICHA TÉCNICA PAREDE LATERAL DA CASA DE BOMBA .	113
APÊNDICE GG – FICHA TÉCNICA PAREDE TRASEIRA CASA DE BOMBA.....	114
APÊNDICE HH – FICHA TÉCNICA DA PORTA DA CASA DE BOMBA	115
APÊNDICE II – FICHA TÉCNICA DO TAMPO DA CASA DE BOMBA	116

1 INTRODUÇÃO

Os efluentes são todos os resíduos produzidos pelo ser humano lançados na forma líquida ou gasosa no meio ambiente. Eles resultam de atividades no meio industrial, agrícola, doméstico, laboratorial, entre outros. Assim, tais efluentes são consequência da variabilidade das atividades humanas e que possuem impacto no meio ambiente (Von Sperling, 1989). O tratamento adequado de efluentes químicos utilizados em laboratórios e/ou na área industrial estão diretamente relacionados a preservação do meio ambiente. A partir disso, órgãos como Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Ibama) e Agência Nacional das Águas (ANA) são responsáveis pela fiscalização do transporte e destino de resíduos, principalmente os potencialmente inflamáveis, tóxicos, corrosivos, reativos e patogênicos. Tais órgãos estão cada vez mais rígidos quanto ao destino correto de substâncias que podem ser nocivas à preservação do meio ambiente.

Os efluentes provenientes de laboratórios, no geral, possuem, em sua composição, substâncias nocivas à natureza, de modo que o seu descarte na rede de esgotos ou corpos d'água é inadequado, sendo necessário a construção de um setor específico de tratamento ou a contratação empresas especializadas neste fim (Souza, 2016). Esses resíduos líquidos laboratoriais possuem, em sua composição, uma grande quantidade de água, de modo que a sua concentração (redução do volume de água) é vantajosa para uma fase final de tratamento. Tradicionalmente, a evaporação da água é obtida através do processo de queima de combustíveis, entretanto nestes, a larga liberação de agentes poluentes (CO_2 , SO_2 , NO_2 e outros), o custo com equipamento (fornos e caldeiras) e com a matéria-prima de queima acentuam gastos financeiros e prejuízos à natureza, dessa forma, são destacadas as vantagens de se utilizar uma energia limpa, renovável e sem custo como a solar (Macedo, 1996).

O Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia – LITPEG, localizado na Universidade Federal de Pernambuco, é constituído por 12 laboratórios integrados distribuídos em três edifícios. Entre eles estão o Laboratório de Análise de Combustíveis (LAC), o Laboratório de Refino, o Laboratório de Biotecnologia (LABIOTA), o Laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LAGESE) e o Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV). Grande parte desses realizam experimentos com substâncias que geram efluentes residuais, os quais requerem

tratamento adequado. Atualmente, uma empresa terceirizada contratada pela UFPE realiza quatro vezes por semana a coleta desses resíduos contaminantes, levando-os para um abrigo central. Suas responsabilidades incluem recolher, transportar do campus para a unidade de tratamento e garantir a destinação adequada. O tratamento envolve o uso de produtos químicos para coagulação, floculação e decantação, visando a separação de substâncias. No entanto, o grande volume desses resíduos aumenta os custos logísticos e de tratamento. Isso destaca as vantagens ambientais e econômicas em um tratamento preliminar que concentre os efluentes.

Os evaporadores são dispositivos empregados para concentrar uma substância por meio da evaporação de um solvente mais volátil. A integração da energia solar nessa tecnologia oferece um vasto potencial energético, visto que anualmente fornece à atmosfera terrestre uma quantidade de energia equivalente a cerca de 10.000 vezes o consumo global de energia. No entanto, no Brasil, em 2020, essa fonte representava apenas 1,7% de toda a matriz energética do país, conforme dados da ANEEL. Isso evidencia que, apesar de ser uma fonte abundante no país, sua utilização ainda é limitada e, conforme apontado por Macedo (1996), a utilização da energia solar para concentrar soluções diluídas prejudiciais ao meio ambiente é vantajosa, pois além de ser uma fonte gratuita, contribui para a redução do volume de agentes poluentes, o que é crucial para o planeta.

A evaporação está ressurgindo como uma tecnologia ambientalmente consciente e eficaz devido à crescente preocupação com o meio ambiente e regulamentações mais rigorosas. Comparada a métodos tradicionais, como incineração ou tratamentos químicos, a evaporação é mais econômica e ecológica, reduzindo o volume de efluentes em até 90%. Isso resulta em uma economia significativa nos custos operacionais, que podem chegar a 30%, mesmo considerando os custos iniciais de aquisição, elétricos, de manutenção e limpeza do evaporador. Além disso, ao utilizar tecnologias adicionais, é possível reutilizar o destilado condensado e os materiais concentrados, que podem representar valiosas matérias-primas (Veolia Water Technologies, 2020 e 2022)

Assim, visando a utilização do sol como fonte de energia, objetivou-se desenvolver e detalhar a geometria de um evaporador solar de película descendente aplicando um concentrador solar tipo lente de Fresnel e materiais acessíveis e de baixo custo com o objetivo de concentrar efluentes químicos. Para alcançar tal meta, adotou-se uma metodologia de desenvolvimento de produto, dividida em algumas

etapas. Primeiramente, realizou-se o Projeto Informacional, que envolveu a coleta de informações teóricas relevantes sobre o assunto e a análise de projetos similares já existentes. Em seguida, no Projeto Conceitual, as informações obtidas foram debatidas e foi definido o tipo de evaporador a ser empregado. Posteriormente, no Projeto Preliminar, deu-se início à elaboração das formas construtivas. Por fim, no Projeto Detalhado, foram desenvolvidos os detalhes finos do evaporador, incluindo especificações técnicas para fabricação e montagem das peças, sendo estes os resultados obtidos e dispostos nos anexos deste projeto.

Deste modo, conclui-se com este trabalho que, diante da crescente preocupação com a gestão sustentável de resíduos e a busca por alternativas energéticas renováveis, o projeto de um evaporador solar para a redução do volume de efluentes originados dos laboratórios do LITPEG-UFPE surge como uma proposta inovadora e promissora. Ao integrar tecnologia de evaporadores com a abundante energia solar disponível na região, espera-se não apenas reduzir o volume de efluentes gerados, mas também minimizar o impacto ambiental desses resíduos e econômicos quanto ao seu tratamento. Neste sentido, o desenvolvimento deste projeto alinha-se com as demandas atuais por sustentabilidade e com futuras aplicações e estudos na área de tratamento de efluentes e aproveitamento de energia solar.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um layout de um evaporador solar para reduzir o volume de efluentes líquidos oriundo dos laboratórios químicos do LITPEG-UFPE (Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir o conceito e as etapas de desenvolvimento de produto para um evaporador solar para concentração de um efluente líquido;
- Propor o design de um evaporador solar em ferramenta CAD;
- Ilustrar os mecanismos do sistema do ciclo de evaporação;
- Definir quais os materiais a serem utilizados para construção;
- Definir o detalhamento de fabricação e montagem do evaporador.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O calor é definido como uma energia transferida entre corpos quando entre eles existe uma diferença de temperatura. A transferência de calor é quantificada por uma taxa na qual o calor flui entre esses corpos, sendo os mecanismos de transferência de calor a condução, convecção e a radiação (Çengel e Ghajar, 2012).

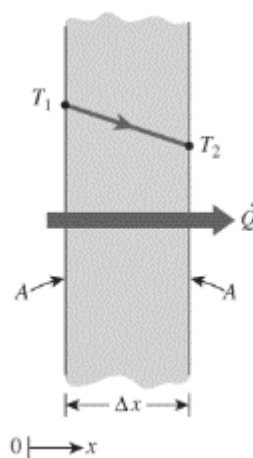
2.1.1 Transferência de calor por Condução

A transferência de calor por condução ocorre em uma substância estática devido única e exclusivamente a um gradiente de temperatura nela existente. Ou seja, não há movimento macroscópico relativo entre as partículas dessa substância (COELHO, 2016).

Neste tipo de transmissão de calor, as partículas mais energéticas de um corpo/substância transferem para as partículas vizinhas menos energéticas energia em forma de calor. Esse mecanismo pode acontecer entre substâncias sólidas, líquidas ou gasosas sem movimento de massa (Çengel e Ghajar, 2012).

A Figura 1 apresenta a condução de calor entre paredes planas com espessura de parede Δx e uma diferença de temperatura entre as extremidades da parede, onde $T_1 > T_2$, que provoca o gradiente de temperatura.

Figura 1 - Esquema de condução de calor entre placas planas e paralelas.



Fonte: Çengel e Ghejar, (2012).

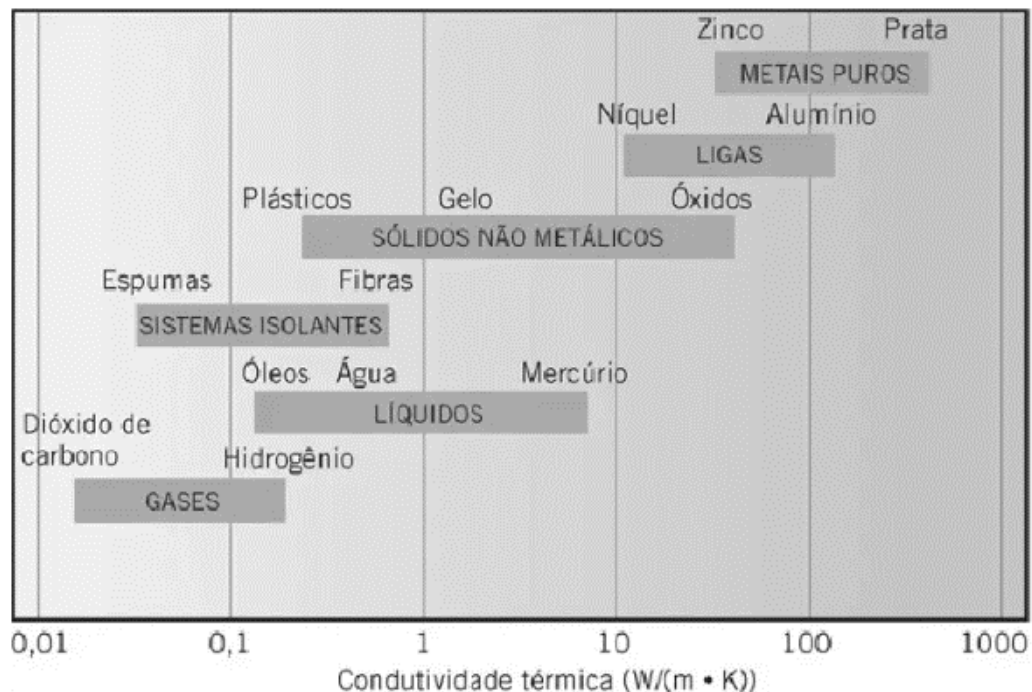
A equação que descreve o comportamento da taxa de condução de calor entre a extremidade da parede de temperatura T_1 e a extremidade de temperatura T_2 é dada pela Lei de *Fourier* da condução térmica:

$$\dot{Q}_{cond} = -\frac{KA(T_2 - T_1)}{\Delta x} \quad (2.1)$$

sendo definido $\dot{Q}$ como a taxa de transferência de calor (W), K é o coeficiente de condutividade térmica do material ($W/(m \cdot K)$), A é a área da parede (m^2), Δx é a espessura da parede (m) e T é a temperatura em cada extremidade da parede (K).

A condutividade térmica é um fator de grande importância quando se trata de condução térmica, uma vez que esse parâmetro descreve o quanto o material conduz o calor de forma a ser considerado essencialmente um condutor ou isolante térmico. A Figura 2 abaixo mostra, a temperatura ambiente, a faixa de valores de condutividade térmica de grupos específicos de materiais usuais.

Figura 2 - Faixa de condutividade térmica de grupos de materiais



Fonte: Incropera, (2014).

Assim, materiais como as ligas metálicas possuem um alto coeficiente de condutividade térmica, podendo, assim, ser considerado um condutor térmico,

enquanto materiais como madeira e espumas são isolantes.

2.1.2 Transferência de calor por Convecção

O processo de transferência de calor por convecção é aquele que ocorre entre uma superfície e um fluido. Pode ser classificado como convecção natural, que ocorre quando o movimento do fluido é causado pela própria transferência de calor, ou forçada que, neste caso, ocorre quando existe uma fonte externa gerando o movimento do fluido (Coelho, 2016). Ainda, segundo Çengel e Grajar (2016) quanto maior a velocidade do fluido, maior será a transferência de calor por convecção.

A Figura 3 apresenta a transferência de calor por convecção entre um bloco com a temperatura elevada e uma corrente de ar com temperatura inferior que passa em sua superfície, causando o seu resfriamento. O calor inicialmente é transmitido por condução a camada adjacente de ar e, após isso, é transmitido para longe do bloco por convecção, causando um efeito combinado de condução-convecção (ÇENGEL; GRAJAR, 2012).

Figura 3 - Transferência de calor por convecção



Fonte: ÇENGEL e GRAJAR, (2012).

A equação que determina o comportamento da transmissão de calor por convecção é a Lei de *Newton* do resfriamento

$$\dot{Q}_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (2.2)$$

onde $\dot{Q}_{conv}$ é a taxa de transferência de calor por convecção (W), h é coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m^2K), A_s é a área da superfície (m^2), T_s é a temperatura da superfície (K) e T_∞ é a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície.

O coeficiente de transferência de calor por convecção, h , é um parâmetro definido experimentalmente que depende do tipo de fluido, da geometria da superfície, da natureza do movimento do fluido, da velocidade do fluido, dentre outras características. A Tabela 1 mostra alguns intervalos de valores habituais para os coeficientes de transferência de calor por convecção.

Tabela 1 - Coeficiente de transferência de calor por convecção

Valores típicos de coeficiente de transmissão de calor por convecção	
Tipo de convecção	W/m ² .K
Convecção livre de gases	2-25
Convecção livre de líquidos	10-1000
Convecção forçada de gases	25-250
Convecção forçada de líquidos	50-20000
Ebulição e condensação	2500-100000

Fonte: Adaptado de ÇENGEL e GRAJAR, (2012).

2.1.3 Transferência de calor por Radiação

Diferentemente da condução e convecção, a radiação é uma fonte de energia que não necessita de um meio interveniente para se propagar. Ela se propaga com a velocidade da luz e não sofre atenuação no vácuo. Além disso, se propaga em forma de ondas eletromagnéticas (Çengel e Ghajar, 2012).

Apesar de ser um fenômeno volumétrico, onde todos os sólidos, líquidos e gases absorvem, emitem ou transmitem radiação, ela geralmente é tratada como um fenômeno superficial. A taxa de radiação que pode ser emitida por uma superfície é determinada pela lei de *Stefan-Boltzmann*:

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (2.3)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ é a constante de *Boltzmann*, ε é o coeficiente de emissividade da superfície que pode assumir valores entre 0 e 1, sendo que $\varepsilon = 1$ equivale a emissividade de um corpo negro, cuja a taxa de radiação emitida é a máxima. A emissividade refere-se à capacidade de um objeto emitir radiação eletromagnética, especificamente energia infravermelha, quando comparado com um corpo negro à mesma temperatura e comprimento de onda. A quantidade de energia emitida é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura do objeto. A emissividade pode variar de 0 (refletindo como um espelho) a 1.0 (corpo negro ideal). Muitos materiais orgânicos, superfícies revestidas ou oxidadas apresentam valores de emissividade próximos a 0.95. A Tabela 2 mostra alguns materiais e sua taxa de emissividade.

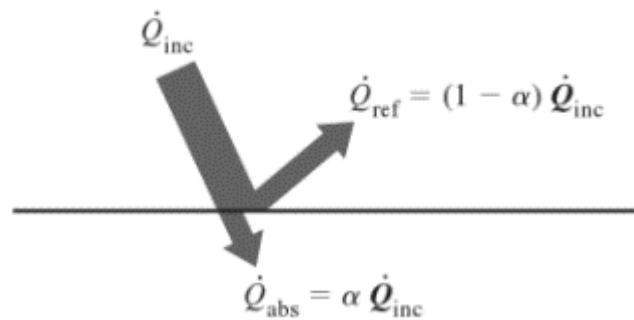
Tabela 2 – Taxa de emissividade de alguns materiais

Taxa de emissividade (T = 300K)	
Material	Emissividade
Alumínio ou cromo polido	0,1 a 0,4
Aço inox polido	0,17
Cobre polido	0,03
Pavimento asfáltico	0,85-0,93
Pintura preta	0,98
Pintura branca	0,9

Fonte: Adaptado Incropera, (2014).

Para corpos reais, parte da radiação é refletida e outra parte é absorvida, para determinar essa distribuição um outro parâmetro chamado de absortividade, α , conforme a Figura 4.

Figura 4 - Distribuição de taxa de incidência, absorvida e refletida



Fonte: Çengel e Grajar, (2012).

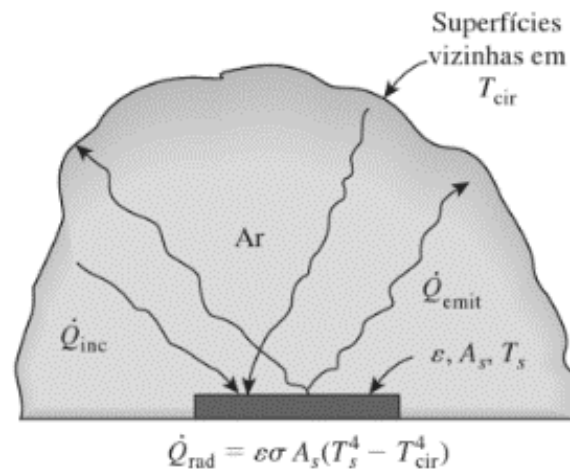
A absorvidade é um conceito crucial em diversas áreas, como física, engenharia, astronomia e ciência dos materiais. Por exemplo, a absorvidade determina a eficiência com que um material pode converter a luz incidente em energia térmica. De maneira geral, objetos de tonalidade escura possuem uma absorvidade mais elevada da radiação solar em comparação com objetos de tonalidade clara. Esse fenômeno se deve ao fato de que superfícies escuras refletem menos luz e, conseqüentemente, absorvem uma quantidade maior, enquanto superfícies claras refletem mais luz e absorvem menos (Çengel e Ghajar, 2012).

No caso geral de transferência de calor por radiação entre uma superfície envolta de outra maior, a taxa líquida de transmissão de calor entre as superfícies é

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_{cir}^4) \quad (2.4)$$

onde T_s é a temperatura da superfície e T_{cir} é a temperatura da circunvizinha a essa superfície, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Transferência de calor por radiação entre superfícies



Fonte Çengel e Grajar, (2012).

2.1.4 Mecanismos combinados

Em um sistema, os três mecanismos de transferência de calor podem existir simultaneamente ou apenas dois deles. Em casos de sólidos opacos, existem apenas transmissão de calor por condução, diferentemente de sólidos semitransparentes, onde ocorrem a condução e a convecção ao mesmo tempo. Além disso, ao se tratar de fluidos, a transferência de calor pode ocorrer, em caso de repouso, por condução e radiação ou, em caso de movimento, por convecção e radiação. Ainda, no caso da maioria dos gases, a absorção por radiação não existe, uma vez que são transparentes à radiação, com exceção de alguns como o Ozônio (Çengel e Ghajar, 2012).

Em sistemas mais completos e complexos os mecanismos podem coexistir. Por exemplo, no caso de um escoamento de um fluido em uma placa metálica. Nesse caso, o fluido em movimento pode sofrer o processo de transmissão de calor por convecção e radiação, e a placa por condução e radiação, resultando assim em um sistema geral com a presença dos 3 mecanismos.

2.2 ENERGIA SOLAR E RADIAÇÃO SOLAR

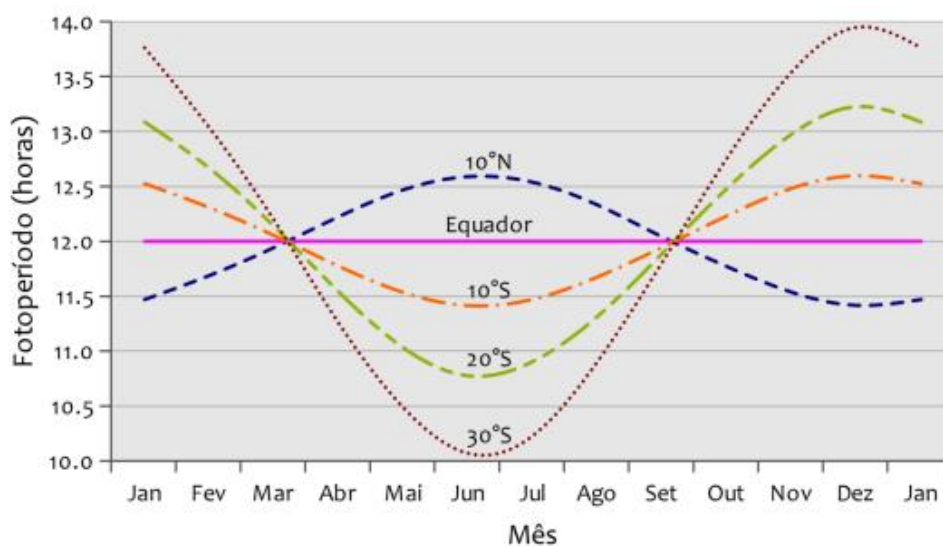
O sol fornece uma grande quantidade de energia ao planeta terra. Tal fato impacta diretamente na manutenção da vida na terra, uma vez que essa fonte energética é vital para os seres vivos. Segundo o Centro de Referência para Energia

Solar e Eólica - CRESESB - (2006), a radiação solar constitui uma fonte inesgotável de energia que possui um grande potencial de utilização por meio de sistemas capazes de absorver e converter em outras formas de energia, tais como energia elétrica e térmica.

Devido à rotação e translação da terra e fatores como latitude e longitude do local de incidência solar, a radiação não é constante. Entretanto, em uma localidade ao nível do mar e em um dia limpo, o sol pode fornecer, em média, uma irradiância (energia solar por unidade de área) de 1366 W/m^2 , sendo assim considerada uma constante solar (NREL, 2017). Além disso, como a terra tem uma órbita elíptica, a sua distância ao sol varia ao longo do ano, fazendo com que a irradiância sofra uma variação, oscilando entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 nesse período (Martins, 2017).

Apesar de ser uma fonte inesgotável e abundante de energia, a radiação solar atinge os países de diferentes maneiras, como dito anteriormente. O período do nascer e do pôr-do-sol, o chamado fotoperíodo, sofre alteração ao longo do ano de acordo com a posição do país com relação à linha do equador (Martins, 2017). A Figura 6 mostra a relação da latitude e do fotoperíodo ao longo dos meses.

Figura 6 - Relação fotoperíodo ao longo dos meses em diferentes latitudes



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, (2017).

Assim, regiões mais próximas ao polo Sul tendem a ter um período menor de irradiação solar ao longo do ano, enquanto regiões próximas à linha do equador tendem a manter constante essa duração ao longo do ano, com cerca de 12 horas. Deste modo, tais regiões são, de modo geral, propícias para projetos de conversão

solar, uma vez que, estando mais próximas ao Equador, recebem os raios solares durante todo o ano de forma constante e direta.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a região metropolitana do Recife, em Pernambuco, possui uma irradiação global média anual de 4,5 kWh/m² a 5 kWh/m². Além disso, a radiação solar global média sazonal de janeiro a março, varia de 6,0 a 7,0 kWh/m².

2.3 EVAPORADORES

A evaporação consiste na remoção do solvente, na forma vaporizada, de uma solução. Os evaporadores são equipamentos específicos que transferem energia térmica para concentrar uma solução composta de um soluto não volátil e um solvente volátil. A concentração do líquido ocorre por meio da ebulição da solução com a retirada do vapor gerado. Na maioria das aplicações, o solvente é a água, o soluto é um sólido com pressão de vapor muito baixa e o produto que se pretende obter é a solução concentrada. Porém, em algumas situações, como a produção de água potável a partir de água do mar ou o reaproveitamento da água de efluentes, o produto principal é o vapor gerado, e não a solução concentrada. (Araujo, 2015).

Os evaporadores podem ser classificados a partir do arranjo de sua superfície de transferência de calor e o método utilizado para garantir que a energia térmica chegue até a solução (Pankratz, 1994). Alguns tipos de evaporadores são os evaporadores de circulação natural ou forçada e os de película ascendentes ou descendente (Ortolá; Fito; Castro, 2018). Ainda, existe uma variedade de evaporadores solares que são comumente empregados, tais como: evaporador solar aberto, evaporador solar de efeito simples e múltiplo e o evaporador solar de mecha (Prado, 2015).

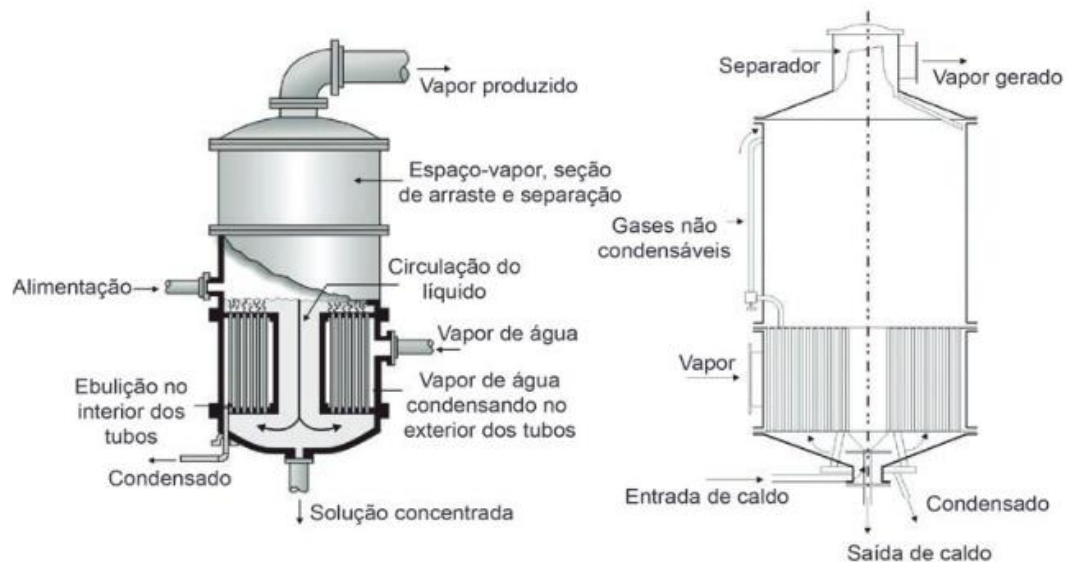
2.3.1 Evaporadores de Circulação Natural

Os evaporadores de circulação natural são aqueles em que a movimentação da solução é realizada devido à variação da densidade a partir do seu aquecimento e, conseqüentemente, sua ebulição. Nesse tipo de evaporador, para que a movimentação do fluido seja eficaz, a solução a ser concentrada deve ser pouco viscosa (Araujo, 2015).

Ainda segundo o autor, nessa categoria, os evaporadores que mais se

destacam é o do tipo Roberts, também conhecido por Calandra ou de Tubos Curtos. Na Figura 7 está representada a configuração geral desse tipo de evaporador.

Figura 7 - Configuração do evaporador de circulação natural



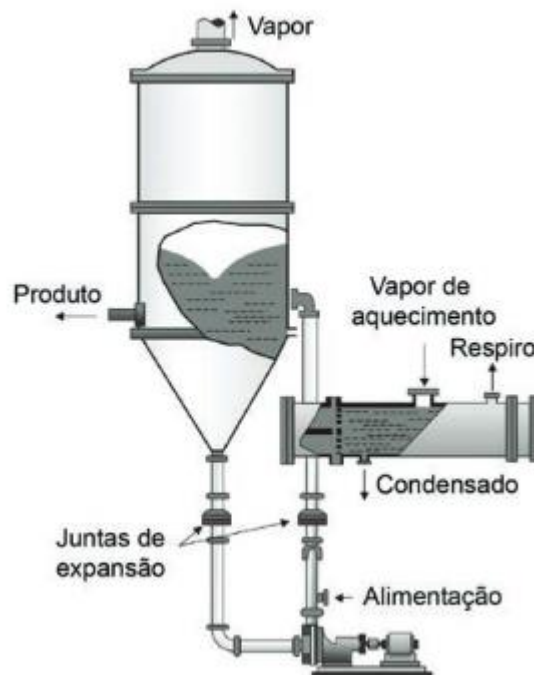
Fonte: Araujo, (2015).

Nessa configuração, o produto é aquecido por uma fonte de vapor externa (geralmente proveniente de alguma outra etapa de serviço que o gere ou pela queima de algum combustível em caldeiras) e sobe através dos tubos por convecção natural e o vapor é condensado pelo exterior dos tubos. O líquido concentrado retorna à base do recipiente através de uma seção anular central. No Brasil, esse tipo de evaporador ainda é o mais utilizado para concentrar caldo de cana na produção de açúcar.

2.3.2 Evaporadores de Circulação Forçada

Nos evaporadores do tipo de circulação forçada a circulação da solução no interior do evaporador ocorre por meio de bombas ou outro tipo de sistema que aumente a velocidade de escoamento. Esse tipo de sistema permite o aumento da troca de calor por convecção, a utilização de soluções mais viscosas e, ainda, diminui o fator de incrustação nas tubulações.

Figura 8 - Evaporador de circulação forçada



Fonte: Araujo, (2015).

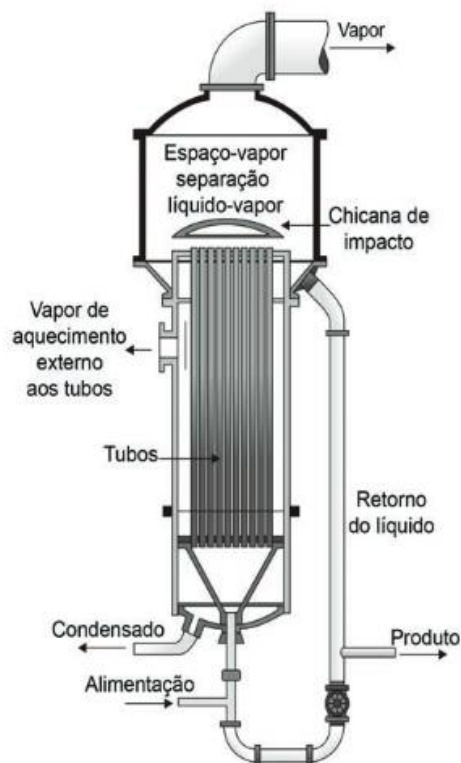
Nesse tipo de evaporador, a solução de recirculação é bombeada através de um trocador de calor sob pressão para evitar a ebulição e a subsequente formação de incrustações nos tubos. A solução então entra em uma câmara separadora operando a uma pressão ligeiramente mais baixa ou vácuo parcial, causando evaporação instantânea da água e formação de cristais (Pankratz, 1994).

2.3.3 Evaporadores de Película

2.3.3.1 Ascendente

No evaporador do tipo película ascendente, também chamando de Tubos Verticais Longos, a solução entra pelo fundo, saindo por cima uma mistura de vapor e líquido que penetra em uma câmara de separação de vapor. Antes desse separador, pode-se ter uma chicana ou uma placa de impacto que, com o choque, realiza a separação entre o líquido e o vapor (Araujo, 2015), conforme a Figura 9.

Figura 9 - Evaporador do tipo película ascendente



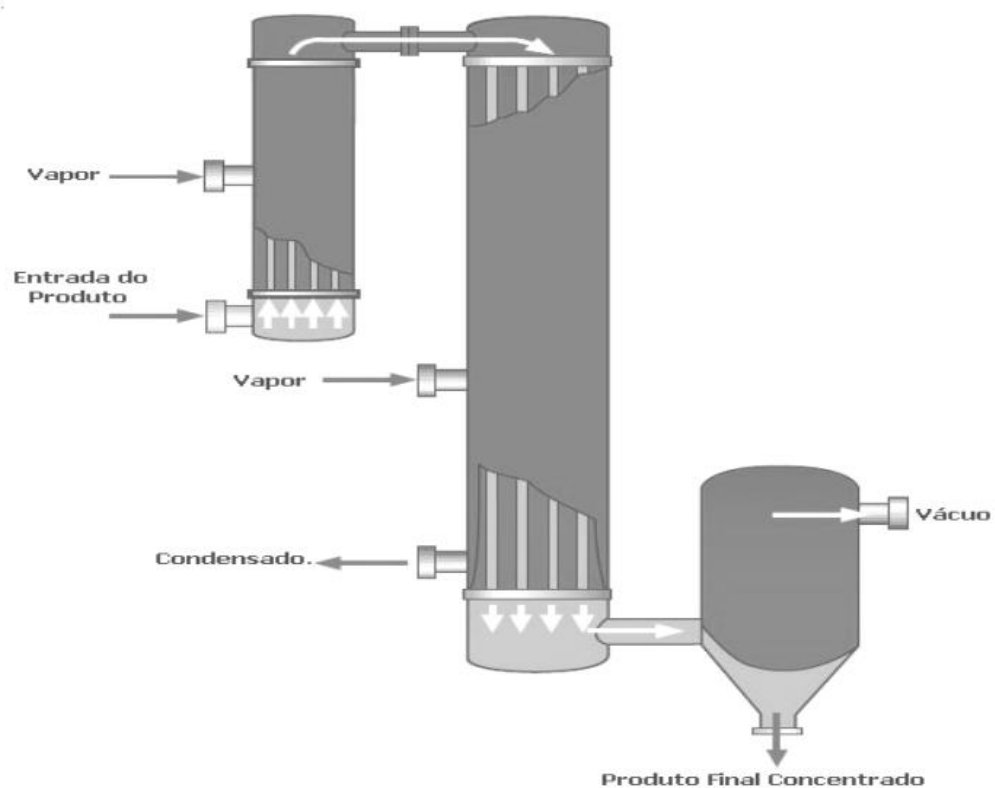
Fonte: Araujo, (2015).

Segundo Araujo (2015), nesse tipo de trocador, o tempo de residência (período em que a solução permanece no evaporador) é curto, variando entre 3 a 4 segundos.

2.3.3.2 Descendente

Estes evaporadores desenvolvem uma fina película de líquido dentro dos tubos verticais que desce por gravidade, permitindo a utilização de soluções mais viscosas. Conforme a Figura 10, a solução é injetada nos tubos do evaporador, de modo que escorra como uma película. O vapor é adicionado externamente do lado do casco fornecendo calor a película. O vapor gerado escoar para baixo paralelamente à película e, após a ebulição, o vapor e o líquido são separados na saída dos tubos

Figura 10 - Evaporador do tipo película descendente



Fonte: Ortolá; Fito; Castro, (2018).

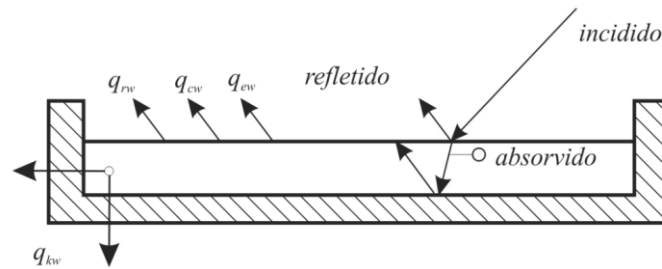
O tempo de residência do evaporador é baixo, cerca de 30 segundos, permitindo sua utilização com substâncias termicamente sensíveis. Esse tipo de evaporador pode ser usado com fluidos incrustantes, pois a ebulição ocorre na superfície do filme e não sobre a parede do tubo, dificultando a formação de incrustação (Araujo, 2015).

2.3.4 Evaporador Solar

2.3.4.1 Aberto

No evaporador solar do tipo aberto existe um contato direto entre o fluido e a atmosfera, ou seja, não existe nenhum tipo de cobertura. O funcionamento consiste no aquecimento direto pela radiação solar e o produto da evaporação não fica retido, de modo que o produto obtido é, apenas, o concentrado (Prado, 2015).

Figura 11 - Evaporador solar aberto



Fonte: Prado, (2015).

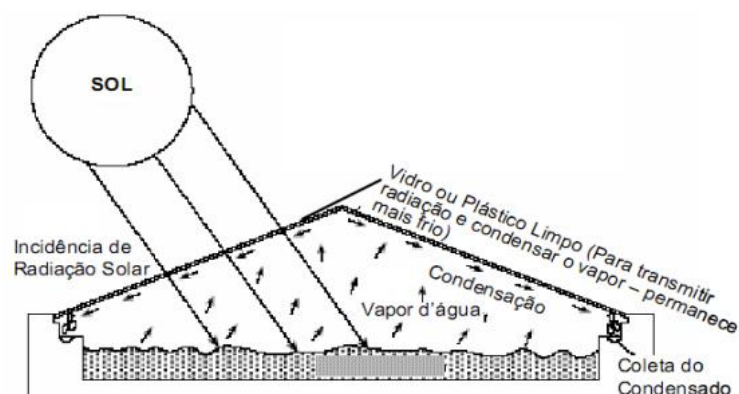
Esse tipo de evaporador é um dos mais simples em sua construção, fator que o torna economicamente viável, entretanto, como não possui nenhum tipo de concentrador de radiação solar, a taxa de evaporação é pequena.

2.3.4.2 De Efeito Simples

O evaporador solar simples possui uma cobertura simples ou dupla de vidros inclinados. No sistema, existe, no geral, um depósito de fluido, calha de captação de água, isolantes térmicos e o concentrador solar. O produto vapor fica retido no evaporador, é condensado na parede de vidro e é recolhido pelas calhas. Assim, os produtos finais obtidos são a água destilada e os sais concentrados (Leite, 2019).

A cobertura de vidro possui funções como permitir a passagem dos raios solares, impedir o escape de vapor do interior do sistema (evitando a perda de calor e mantendo a água no sistema), condensar o vapor e, por último, conduzir as gotas de destilado para as calhas laterais (Leite, 2019). A Figura 12 mostra a estrutura de um evaporador solar de efeito simples.

Figura 12 - Evaporador de Efeito Simples



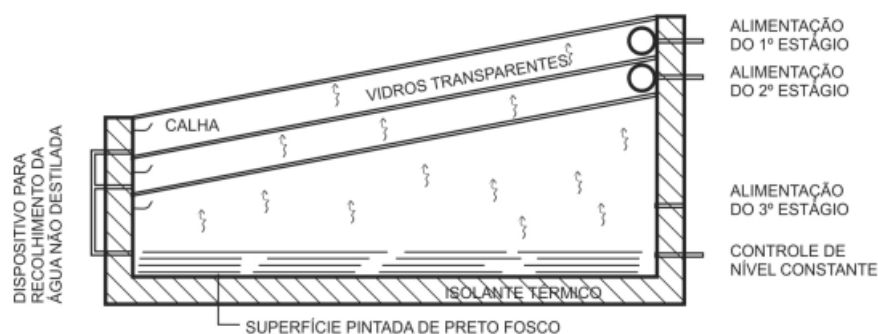
Fonte: Marinho, (2014).

Esse mecanismo é inspirado em destiladores e, por isso, diferentemente do evaporador aberto, permite o armazenamento e reaproveitamento do produto vapor/água destilada e do concentrado. Entretanto, segundo Santori (1996), a taxa de evaporação no evaporador de efeito simples é menor do que no evaporador aberto, mesmo com temperaturas da água iguais.

2.3.4.3 De Efeito Múltiplo

O evaporador solar de efeito múltiplo consiste em camadas de efeito simples com apenas um lado inclinado, ou seja, é um sistema de evaporadores em série onde cada estágio possui sua própria alimentação e seu próprio sistema de calhas e dispositivos de transporte. Além disso, toda a superfície lateral é isolada termicamente e pintada de preto fosco para aumentar o fator de absorvidade (Prado, 2015).

Figura 13 - Evaporador solar de Efeito Múltiplo



Fonte: Prado, (2015)

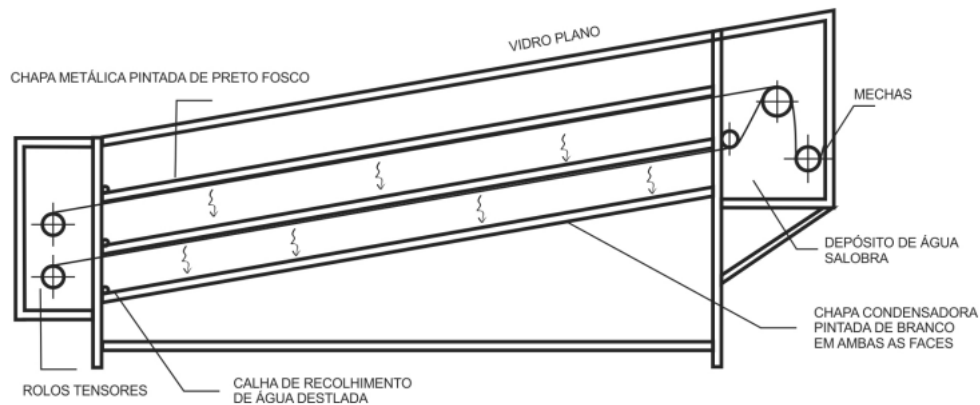
Esse tipo de sistema é mais eficiente do que o evaporador de efeito simples. Para um exemplo de dessalinização de água salobra, para um sistema de dez estágios, a produção de água destilada aumenta em até seis vezes com relação a um evaporador solar de efeito simples de uma mesma área (Talbert; Eibling; Lof, 1970). Entretanto, apesar dessa vantagem, por ser um sistema com várias camadas, torna-se menos viável economicamente com relação ao de simples efeito.

2.3.4.4 De Mecha

O evaporador de mecha tem uma estrutura semelhante ao de efeitos múltiplos. Nesse tipo, uma ou mais chapas metálicas pintadas de preto fosco na face superior

dão sustentação a um tecido poroso (mecha) que passa pela parte inferior da chapa. Dois rolos tensionam as extremidades do tecido que é mergulhado em um recipiente contendo água salobra, absorvendo uma parcela de fluido. A última chapa é pintada de branco e funciona como um condensador, conforme a Figura 14 (Prado, 2011).

Figura 14 - Evaporador Solar de Mechas



Fonte: Prado, (2015).

Segundo Araujo (2011), esse tipo de evaporador é utilizado em inúmeros processos, como na produção de açúcar, leite condensado, sais etc.

2.4 CONCENTRADORES SOLAR

Os concentradores solares são dispositivos projetados para direcionar a luz solar incidente em uma área maior para uma área menor, aumentando assim a intensidade da radiação solar. Eles desempenham um papel crucial na eficiência dos sistemas de energia solar, permitindo a concentração de energia solar em uma área menor para aumentar a temperatura ou gerar eletricidade (Prado, 2015).

De acordo com Garcia (2013), há dois principais categorias de concentradores solares. O primeiro engloba os concentradores refletores, nos quais a radiação solar, ao incidir no concentrador, é refletida em direção ao ponto focal. O segundo grupo inclui os concentradores refratores, nos quais os raios solares, ao colidirem com o concentrador, são desviados para convergir no ponto focal.

Alguns dos tipos mais comuns de concentradores solar são: o concentrador plano, o concentrador solar parabólico composto, a torre solar e as lentes do tipo Fresnel.

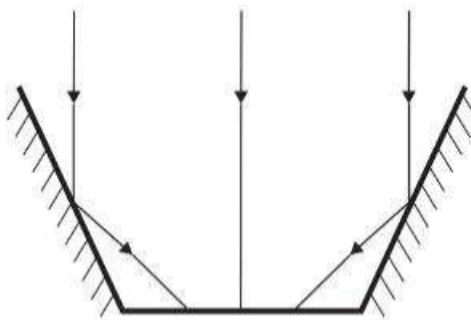
Conforme observado por Garg e Prakash (2000), os concentradores solares apresentam benefícios notáveis, como a capacidade de atingir elevadas temperaturas, resultando em uma eficiência termodinâmica otimizada. Adicionalmente, eles proporcionam a redução de perdas devido a uma área de aquecimento menor, além de contribuir para a diminuição dos custos relacionados aos materiais de construção.

Um dos principais critérios para categorizar e determinar a aplicação de um determinado concentrador solar é o seu índice de concentração. Essa medida é obtida pela relação entre a área de abertura do coletor solar e a área do absorvedor que recebe a radiação concentrada. É estabelecido que um índice de concentração no intervalo de 2 a 10 é considerado baixo, entre 10 e 100 é médio, enquanto valores acima de 100 são considerados altos. Esse índice é atrelado a temperatura requerida ao final com o intuito de definir qual tipo de concentrador deverá ser aplicado (Leutz; Suzuki, 2001).

2.4.1 Concentrador solar plano

O concentrador solar plano é caracterizado por um ou mais espelhos, os quais podem ser fixos ou ajustáveis, direcionando os raios solares para o absorvedor, conforme demonstrado na Figura 15. Este tipo de concentrador possui uma configuração simplificada, resultando em um índice de concentração situado no intervalo de 2 a 10, indicando uma concentração relativamente baixa. No entanto, ao ser comparado com um sistema plano desprovido de espelhos, sua utilização resulta em um aumento de temperatura entre 20°C e 30°C (Sukhatme; Nayak, 2008).

Figura 15 - Concentrador solar plano

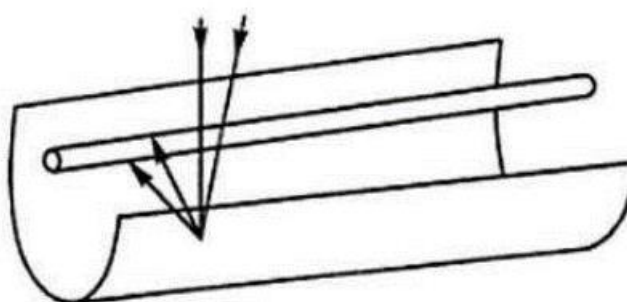


Fonte: Prado, (2015)

2.4.2 Concentrador solar de calha parabólica e cilindro

A operação de um concentrador solar do tipo calha-cilindro se fundamenta na concentração de raios solares através da superfície refletora em um tubo absorvedor posicionado no foco da parábola (calha), com comprimento correspondente ao do concentrador, conforme exemplificado na Figura 16. No cilindro deve conter um fluido no qual absorverá a energia térmica (Bianchini, 2013).

Figura 16 - Concentrador solar tipo Calha-Cilindro



Fonte: Prado, (2015)

Conforme mencionado por Dicer e Zamfirescu (2014), o índice de concentração solar desse concentrador varia de 25 a 100 sóis, categorizando-se, portanto, como um índice de magnitude média.

Um aspecto relevante dos concentradores de calha parabólicas é a necessidade de acompanhar a trajetória solar ao longo do dia. Geralmente, esses coletores estão equipados com um sistema de rastreamento que ajusta a posição do coletor de acordo com a variação aparente do Sol no céu. O mecanismo de rastreamento pode operar em um ou dois eixos, dependendo do tipo de coletor. Essa movimentação é efetuada por uma unidade motriz, conectada à estrutura metálica de suporte dos coletores. Esta unidade motriz pode ser de natureza mecânica, indicada para coletores de pequeno e médio porte, ou de acionamento hidráulico, preferencialmente utilizada em coletores de grande porte (Maranhão, 2016).

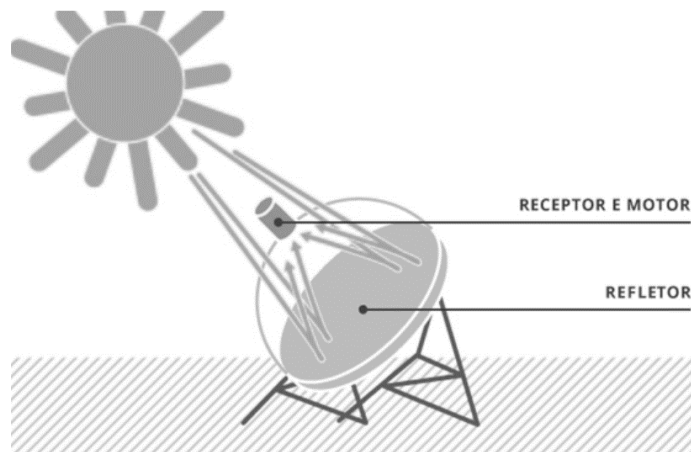
2.4.3 Concentrador solar de disco

A absorção de energia solar ocorre por meio de um receptor em formato de disco parabólico, direcionando os raios para um receptor posicionado no ponto focal,

conforme Figura 17. A energia térmica assim capturada é empregada no processo (Bianchini, 2013).

De acordo com Dincer e Zamfirescu (2014), os valores típicos de índices de concentração em projetos usuais variam entre 600 e 2000. Classificado, assim, com um alto índice de concentração solar. A faixa de temperatura alcançada varia de 100 a 1500°C, sendo comumente empregada na produção de energia elétrica, operação de fogões solares e outros dispositivos que demandam elevadas temperaturas.

Figura 17 - Concentrador solar tipo disco



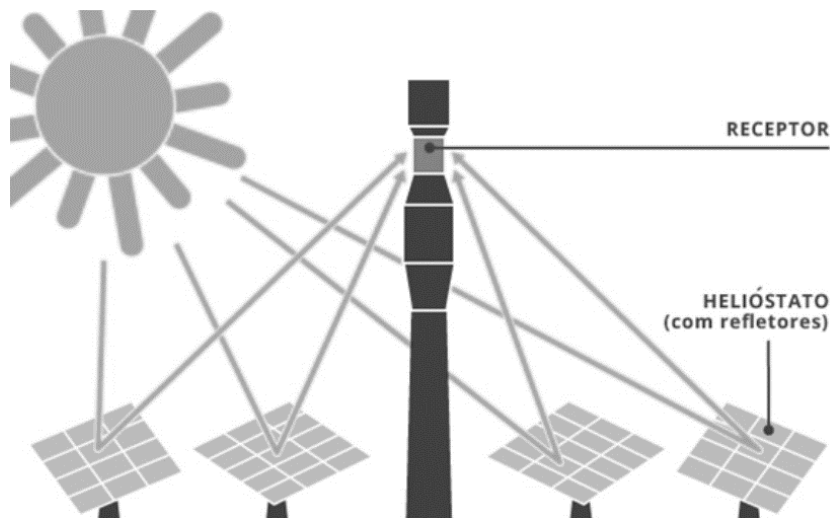
Fonte: Adaptado de Portal Energia Heliotérmica, (2016)

Geralmente, esses coletores estão equipados com um sistema de rastreamento que ajusta a posição do coletor de acordo com a variação aparente do Sol no céu (Maranhão, 2016).

2.4.4 Concentrador solar tipo torre

Conforme mencionado por Prado (2015), O concentrador do tipo torre é caracterizado por superfícies reflexivas, que podem ser côncavas ou planas, envolvendo um absorvedor fixo situado no ápice de uma torre, como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Concentrador solar tipo torre



Fonte: Adaptado de Portal Energia Heliotérmica, (2016)

Esses espelhos estão equipados com um sistema de rastreamento de dois eixos, alinhando-se para direcionar e concentrar os raios solares no absorvedor situado no topo da torre. O fluido térmico contido no absorvedor é bastante empregado para acionar geradores mecânico de energia, operando em um ciclo termodinâmico similar ao de Rankine ou Brayton (Kreith; Kreider, 2011). A faixa típica de temperatura varia de 300°C a 1500°C, apresentando um índice de concentração entre 150 e 2000 sóis, sendo classificado como um alto índice de concentração (Kalogirou, 2009).

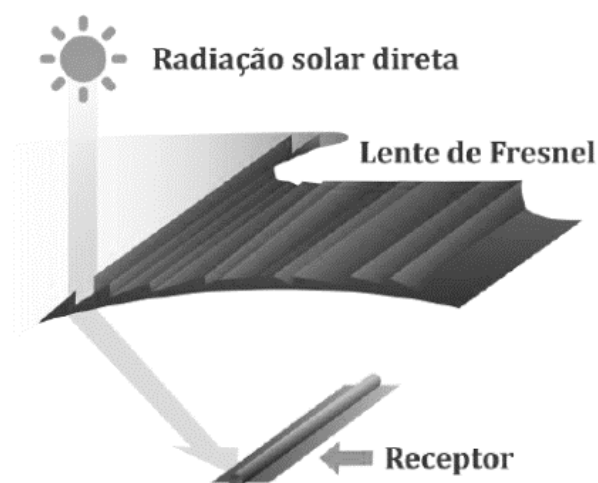
2.4.5 Concentrador solar tipo Lente de Fresnel

As lentes de Fresnel são caracterizadas por anéis circulares concêntricos sucessivos em sua superfície e foram inventadas pelo físico francês Augustin-Jean Fresnel para serem utilizadas em faróis. Em comparação com as lentes convencionais, a lente de Fresnel apresenta uma estrutura mais fina, resultando em menor peso e volume, o que contribui para uma menor atenuação da luz incidente (Garcia, 2013).

Embora a maioria dos concentradores solares utilize sistemas baseados na reflexão, o modelo de Lente de Fresnel, mais compacto em comparação com as lentes convencionais, emprega os princípios da refração. Nesse contexto, o concentrador é composto por uma ou mais lentes que criam um ponto, uma linha ou uma área de concentração dos raios solares, como mostrado na Figura 19, mostrando dimensões e eficiência superior a lentes convencionais. Esses raios são concentrados na zona

focal e redirecionados para a finalidade desejada, que, assim como em outros casos, pode ser a geração de energia elétrica, o aquecimento de tubulações, a climatização de ambientes, entre outras aplicações (Prado, 2015)

Figura 19 - Comparativo lente de Fresnel e convencional



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina, (2016)

Os concentradores lineares do tipo Fresnel possuem uma natureza híbrida, incorporando características tanto de um coletor cilíndrico parabólico quanto dos sistemas de receptor central. Essa concepção visa combinar a eficiência de um coletor parabólico com a simplicidade e custos mais baixos associados aos sistemas de receptor central (Almeida, 2013).

3 PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

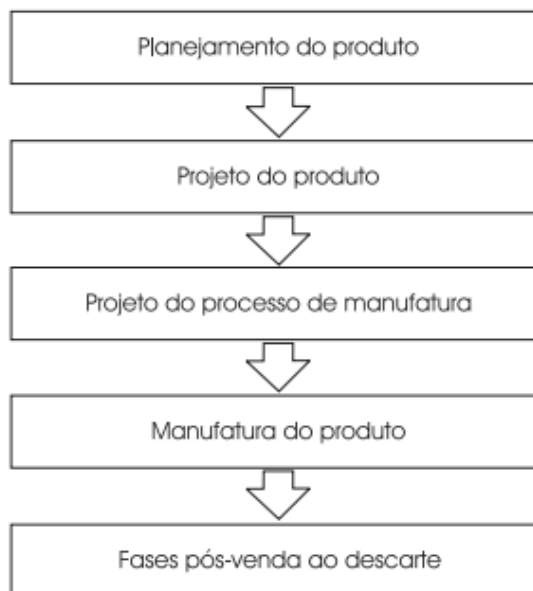
Desenvolver um produto significa transformar uma ideia em uma forma materializada de um bem físico ou em uma prestação de um serviço. Desse modo, o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) compõe-se de atividades planejadas, coordenadas e controladas para que o objetivo traçado de criação de um novo produto possa ser alcançado (Machado e Toledo, 2008).

O desenvolvimento de produto é definido como todo o processo de transformação e geração de informações necessárias, desde a identificação de uma demanda à produção e ao uso do produto. Tais produtos, a partir de sua origem de concepção, podem ser definidos como uma variante de um produto existente,

inovador, aquele que é um aperfeiçoamento de um produto existente, ou criativo (BACK *et al.*, 2008).

Ainda segundo Back *et al.* (2008), o desenvolvimento integrado de um produto se estabelece na estruturação e realização das suas respectivas fases, que são: planejamento do produto; definição das especificações de projeto; projeto do produto; projeto do processo de fabricação e de montagem; construção e teste do protótipo; e planejamento do processo de transporte, manutenção e descarte ou desativação do produto. Em síntese, as etapas de desenvolvimento de produto podem ser vistas no fluxograma da Figura 15.

Figura 20 - Etapas de desenvolvimento de produtos



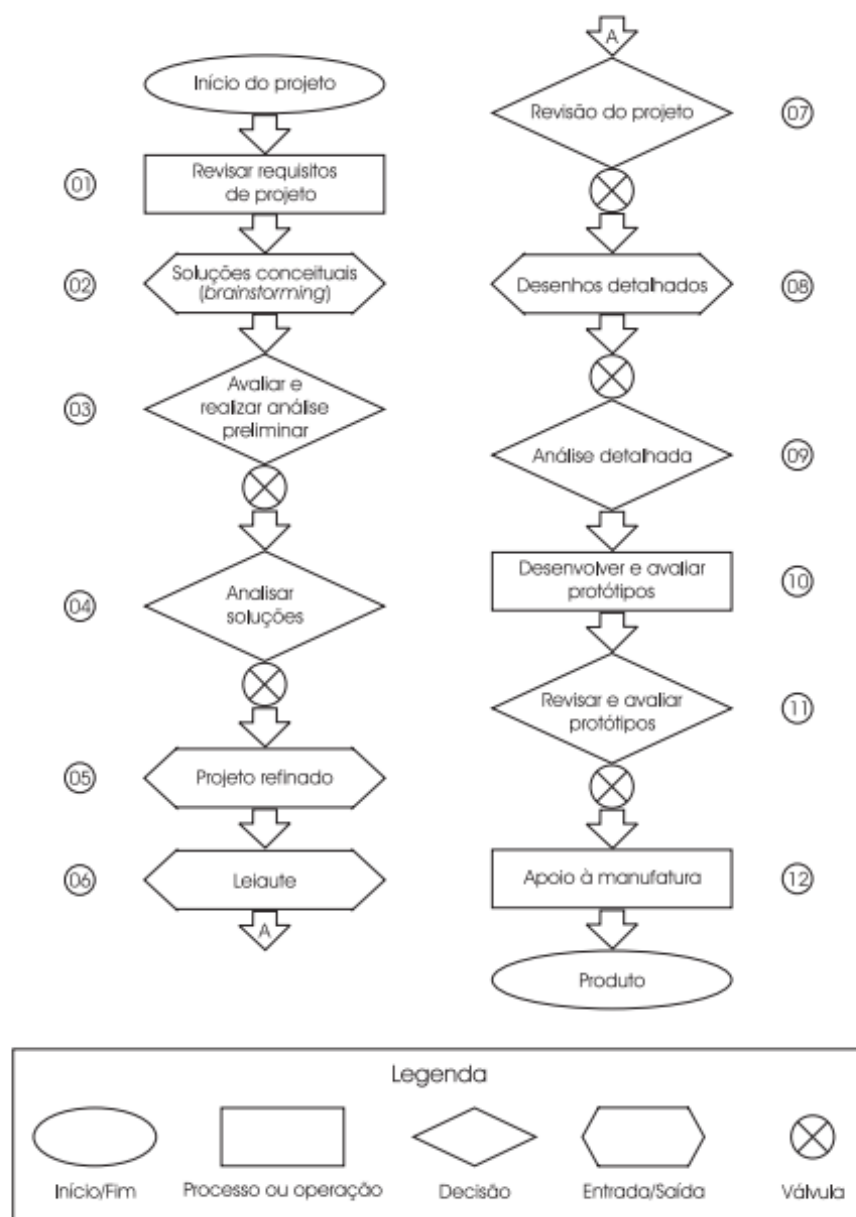
Fonte: BACK *et al.*, (2008).

Esse processo de desenvolvimento engloba desde a fase de planejamento do produto, que consiste no plano estratégico, passando pelas fases de projeto do produto e processo de manufatura, ou seja, a concepção em si do produto, até a fase de planejamento de pós-venda: distribuição, transporte, utilização, manutenção e descarte (BACK *et al.*, 2008).

Para Rozenfeld *et al.* (2006), a aplicação do PDP garante o projeto e a possibilidade de manufatura dos produtos que assegurarão a competitividade, comercialização e o faturamento da empresa no futuro. Assim, um PDP eficaz e eficiente possui uma articulada gestão estratégica e operacional dos processos.

A revisão de cada etapa no projeto de desenvolvimento de produto é fundamental antes do avanço de qualquer processo. Uma estrutura de projeto foi apresentada por Coryell (1967) já mostrava a importância da revisão sistemática dos processos da concepção de produtos. Ela desdobra a PDP sistemática em doze passos, como mostra a Figura 16. Essa estrutura traz cinco símbolos de válvula colocados no fluxo do processo, representando a avaliação e revisão das etapas anteriores antes de prosseguir para a seguinte.

Figura 21 - Estrutura do Processo de Projeto de Produtos (Coryell, 1967)



Fonte: BACK *et al.*, (2008).

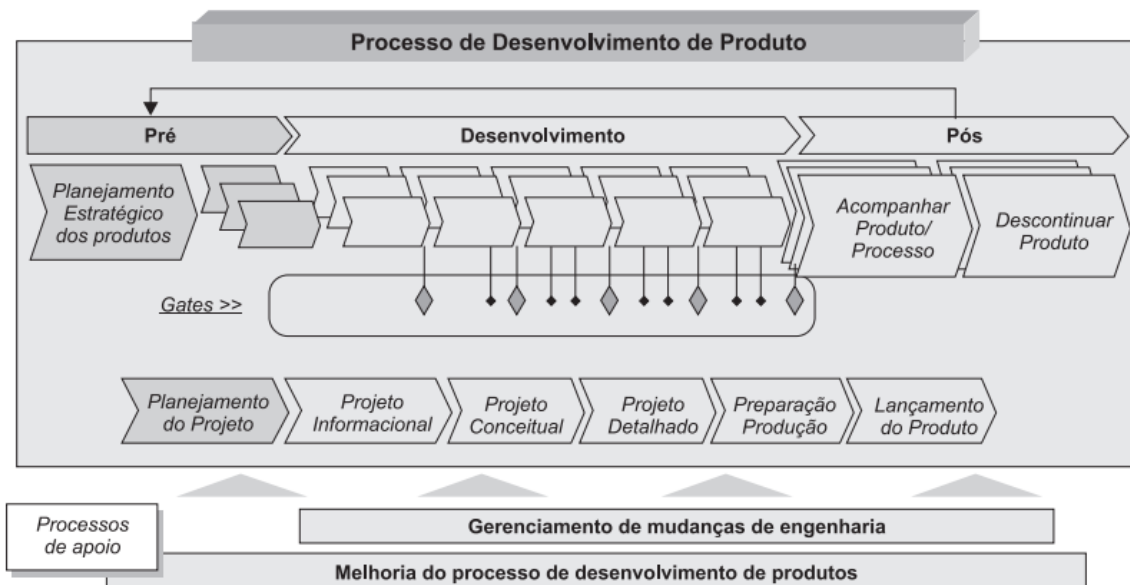
Assim, estruturar e seguir os Processos de Desenvolvimento de Produtos é

necessário, principalmente nas fases iniciais do projeto, uma vez que nelas o grau de incerteza acerca das decisões a serem tomadas é mais elevado, devido às dificuldades no levantamento de informações como o custo do projeto, a disponibilidade das tecnologias para o produto, os materiais a serem aplicados, o projeto do processo de fabricação, entre outros (Rozenfeld *et al.*, 2006).

3.1 MODELO DE ROZENFELD

As macroetapas ou níveis da PDP estabelecida por Rozenfeld *et al.* (2006) são estruturadas como pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento, conforme a Figura 17. Segundo Machado e Toledo (2008), esta estruturação surge a partir de uma necessidade do mercado ou tecnológica e segue com a elaboração e, por fim, construção e comercialização do produto.

Figura 22 - Processos de Desenvolvimento de Produto



Fonte: Rozenfeld, (2006).

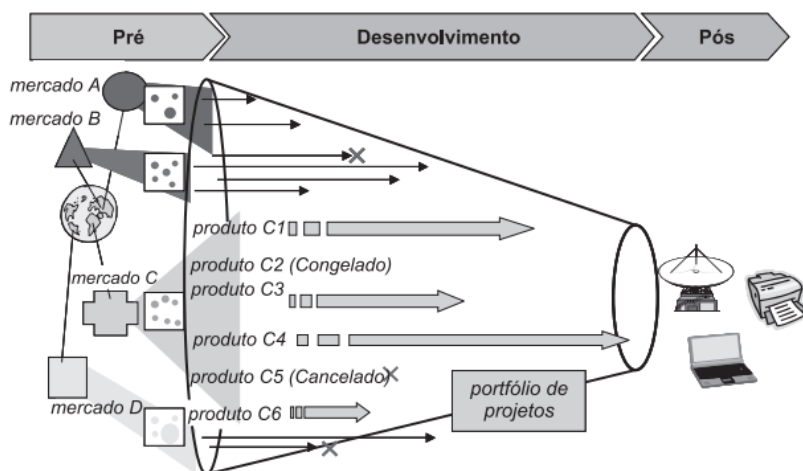
O pré-desenvolvimento consiste no estudo da necessidade do mercado, na definição do público-alvo e do objetivo final do produto. Neste nível, existe a concepção inicial, o seu acolhimento ou a sua refutação a partir de restrições existentes levantadas, que podem ser estruturais, de formação ou tecnológica e, após essa primeira análise, sucede-se o planejamento estratégico de desenvolvimento. No geral, essa macroetapa é a que possui o menor tempo de duração com relação às outras já citadas (Rozenfeld *et al.*, 2006).

No nível de desenvolvimento do produto o projeto é fundamentalmente iniciado. Esta macrofase é subdividida em etapas que visam a geração de informações técnicas acerca do produto. Primeira etapa, desenvolvimento do projeto informacional, especifica-se as metas e os resultados finais almejados. Na segunda etapa, desenvolvimento do projeto conceitual, as possíveis concepções do produto são geradas, com levantamento de documentos, desenhos, especificações iniciais, entre outras e são estudadas detalhadamente até que se defina a melhor solução a partir da meta estabelecida anteriormente. Após isso, inicia-se o desenvolvimento do projeto detalhado. Nessa etapa a concepção do produto começa a ser detalhada e são geradas especificações finais. Nesse processo, são gerados documentos, planilhas, desenhos, protótipos, entre outros que detalhem a nível de futura fabricação e/ou aplicação do produto. A quarta etapa, a preparação para a produção, ocorre a aprovação do projeto piloto, a fabricação final, testagem do produto e, após análise de resultados, ocorre a homologação ou retorno às etapas anteriores para melhoria de projeto. Por fim, ocorre o lançamento do produto e a sua larga produção é viabilizada (Rozenfeld *et al.*, 2006).

A última macrofase, o pós-desenvolvimento, é a fase geralmente mais duradoura, uma vez que é focada na análise do produto a longo prazo. Assim, é o período de acompanhamento do produto durante seu ciclo de vida útil a partir das garantias, da realização de manutenções, do aprimoramento e correções no projeto, e sistematização do processo, a partir da reunião de informações pós-produção e ainda a descontinuidade do produto no mercado (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Ainda segundo o autor, uma correta estruturação do PDP garante que o fluxograma de atividades ocorra com uma larga escala de ideias e demanda de mercado e, após o avançar das etapas, ocorra o estreitamento das concepções até um resultado singular. Esse é o conceito de funil bastante aplicado nas áreas de marketing e vendas e que também aplicado na área de projetos de engenharia, conforme exemplificado pela Figura 18.

Figura 23 - Funil de Desenvolvimento de Produto (Rozenfeld, 2006)



Fonte: Rozenfeld, (2006).

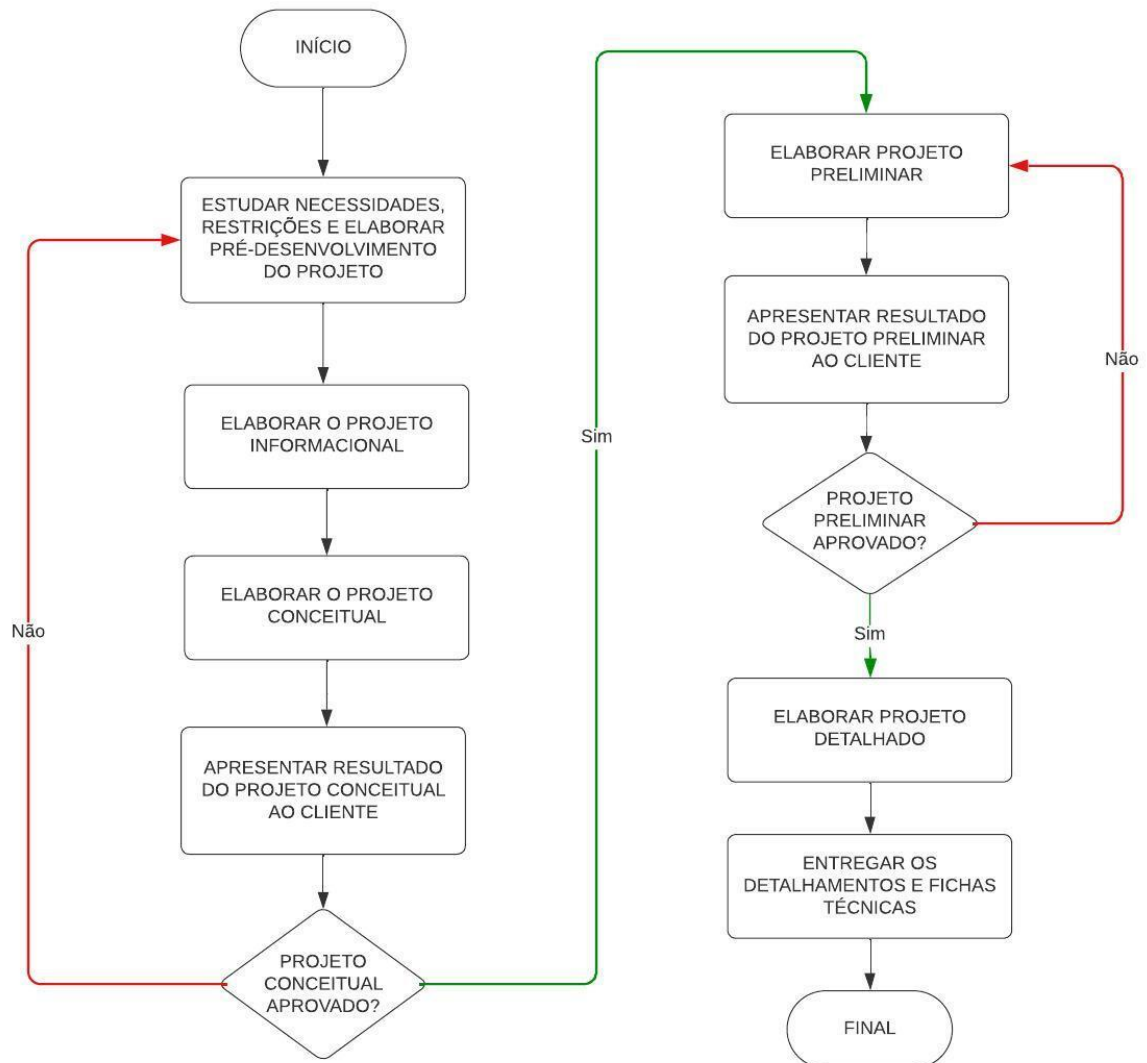
Deste modo, a partir de um fluxo de atividades e de informações baseada no PDP, é possível realizar ligações entre o projeto, o mercado, os fornecedores, fontes de informações tecnológicas, entre outros, de modo que a aplicação correta do processo de desenvolvimento do produto garanta a ligação entre os processos internos e externos do projeto e, ainda, posterior à produção, com o acompanhamento do produto em atividade. Assim é possível, durante todas as etapas, reavaliar e propor melhorias no processo, caso necessário (Rozenfeld *et al.*, 2006).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho é categorizado como pesquisa aplicada, pois visa primariamente propor uma solução para o problema identificado no estudo de caso, no qual é a redução do volume de efluentes químicos oriundos dos laboratórios do LITPEG-UFPE. Seu propósito é descritivo, com objetivos qualitativos e quantitativos. A abordagem metodológica adotada será bibliográfica, enquanto o método científico aplicado seguirá o modelo hipotético-dedutivo.

O desenvolvimento do concentrador solar foi composto por diversas etapas, partindo desde a concepção prematura do projeto, bem como a reunião de informações teóricas, conceituação do produto, definição do layout preliminar e, posteriormente, o definitivo. Estas foram seguidas conforme os níveis e etapas definidas na Figura 19, baseado no modelo proposto por Rozenfeld (2006).

Figura 24 - Níveis e etapas realizadas no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

4.1 PRÉ-DESENVOLVIMENTO

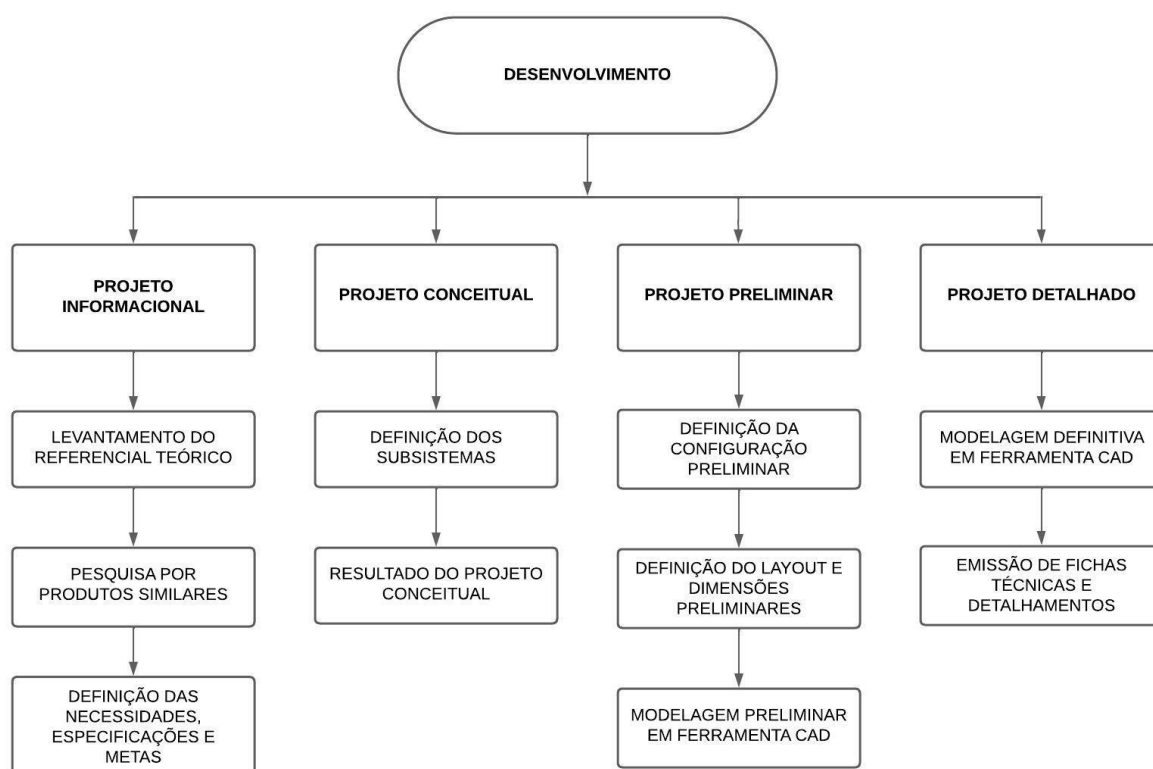
Durante a fase de pré-desenvolvimento, a concepção do produto é definida, tendo como principal base o estudo realizado por Souza (2016), exposto no tópico 5.1.2.3 da etapa do projeto informacional juntamente com a observação da necessidade dos laboratórios do LITEPEG em diminuir o volume de efluentes produzidos durante as pesquisas realizadas no prédio. De modo geral, o prédio abriga uma série de 12 laboratórios integrados distribuídos em três edifícios. Entre eles estão o Laboratório de Análise de Combustíveis (LAC), o Laboratório de Refino, o Laboratório de Biotecnologia (LABIOTA), o Laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LAGESE), o Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV),

além de salas de aula. Cada laboratório possui suas próprias linhas de pesquisa e, durante os experimentos, geram um considerável volume de efluentes contendo sulfetos, sulfatos e metais pesados. Deste modo, o produto é concebido com o intuito reduzir custos com um tratamento preliminar, onde os efluentes contendo sulfetos, sulfatos e metais pesados passam por evaporação do solvente (água), concentrando os contaminantes para um posterior descarte final.

4.2 DESENVOLVIMENTO

Neste nível, as etapas do projeto informacional, conceitual e detalhado foram subdivididas em outras microetapas capazes de reunir informações e detalhar o produto desenvolvido. A Figura 20 expõe as microetapas definidas durante a etapa do planejamento estratégico do nível do pré-desenvolvimento.

Figura 25 – Desenvolvimento do produto: Etapas e Microetapas



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

4.2.1 Projeto Informacional

A pesquisa iniciou-se com a definição do objetivo geral e específicos para o desenvolvimento do produto. Assim, com os objetivos traçados, reuniu-se informações necessárias em torno dos tipos de evaporadores, formando um banco de dados teóricos e técnicos percorridos em uma fundamentação teórica baseada em livros, dissertações, experimentos e teses. A partir dela, o segundo passo foi compreender o funcionamento dos tipos de evaporadores, as fontes de energia que utilizam, além da sua tecnologia e das diferentes aplicações. Bem como, compreender os fenômenos de transferência de calor e a influência da utilização de diferentes materiais, e ainda, a aplicação de concentradores solares para aumentar a eficiência do sistema.

4.2.2 Projeto conceitual

A partir da finalização da reunião de dados e do estudo preliminar, foram traçadas metas e especificações para o desenvolvimento do produto. Assim, definiu-se o tipo de evaporador a ser utilizado, a fonte de energia e os mecanismos que compõem todo o sistema. Nesta etapa o resultado obtido foi apresentado ao cliente para validação e prosseguimento para as próximas etapas.

4.2.3 Projeto preliminar

Após aprovação do projeto conceitual, as ideias concebidas são transferidas para uma configuração que permitem a sua aplicação. Com auxílio de ferramenta CAD, iniciou-se o processo de confecção do design de cada subsistema anteriormente definidos. Após isso, foi realizada a montagem/união dos subsistemas e apresentados de forma preliminar ao cliente para validação e aprovação.

4.2.4 Projeto detalhado

Por fim, após a aprovação do projeto preliminar, o produto foi completamente definido obedecendo as bases estabelecidas nas fases anteriores. Deste modo, o projeto foi desenhado em ferramenta CAD, desenvolvendo, assim, sua representação gráfica e o detalhamento em fichas técnicas de cada componente para uma fabricação e montagem futura, bem como a lista de peças e o manual de montagem.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 PROJETO INFORMACIONAL

5.1.1 Definição do objetivo

Nesta microfase, foi definido o objetivo geral de desenvolver um layout de um evaporador solar para reduzir o volume de efluentes líquidos oriundo dos laboratórios químicos do LITPEG-UFPE (Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia). Além do objetivo central, outros pontos e metas foram traçados, e entre estes, que o produto deve ser de baixo custo, que utilize materiais de fácil acesso no mercado e que utilize alguma fonte de energia limpa e de fácil acesso.

A definição do tipo de evaporador e as tecnologias utilizadas são discutidas nos subtópicos da discussão dos resultados do Projeto Conceitual, tópico 5.2.

5.1.2 Pesquisa por projetos similares

Com o intuito de definir os mecanismos, materiais e métodos necessários para a elaboração do evaporador solar voltado à concentração de efluentes líquidos, realizou-se uma compilação de informações provenientes de diversos projetos de evaporadores solares (ES) implementados em diferentes contextos. Todos esses projetos compartilhavam um objetivo comum: separar a água de uma mistura, concentrando, assim, uma substância específica e/ou possibilitando o reuso da água. Durante essa análise, foram examinados três projetos que utilizam a energia solar como principal fonte de calor para essa aplicação e estão expostos no tópico a seguir:

5.1.2.1 Evaporador solar para tratamento de resíduos do método de Mohr (ES-1)

O evaporador solar proposto por Silva *et al* (2015) consiste em um evaporador de efeito simples. Ele foi construído em formato de trapézio feito de madeira, com dimensões de 115 cm de comprimento, 50,1 cm de largura, 41,3 cm de altura na parte de trás e 22,7 cm na parte da frente. Sua tampa de vidro, medindo 115 cm de comprimento e 53 cm de largura. O interior foi pintado de preto e revestido completamente com resina, enquanto placas de metal na base aumentam o acúmulo de energia. Um cano de PVC, cortado ao meio longitudinalmente, está na parte frontal para a condensação da água, que é recolhida em um recipiente fechado. Na Figura 26 pode ser observado o dispositivo.

Figura 26 - Layout do ES - 1



Fonte: Silva et al, (2015)

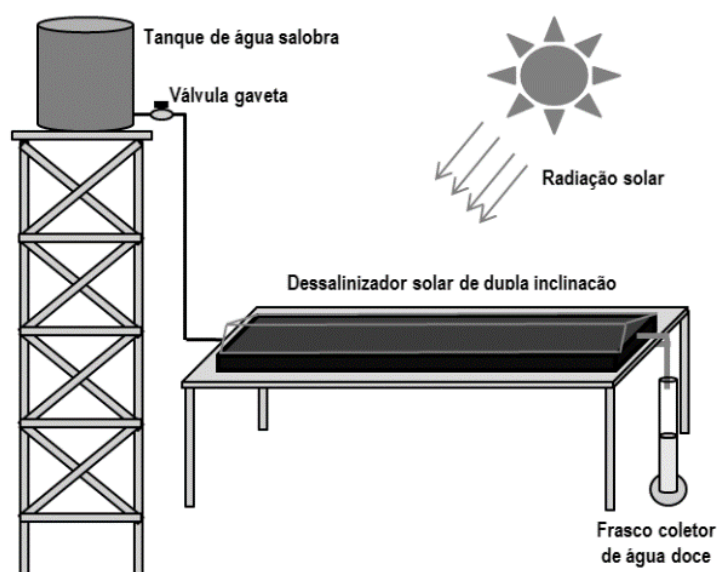
Colocado em um local protegido, exposto à luz solar, o evaporador conta com 5 béqueres para receber o filtrado. Os frascos com os filtrados são transportados até o evaporador, onde seu conteúdo é cuidadosamente despejado nos béqueres. Este processo é repetido até que a evaporação atinja uma coloração amarela escura e a capacidade do béquer atinja metade, indicando que está pronto para o tratamento.

Os resultados obtidos foram de, durante o período de 22 dias, uma taxa média diária de evaporação de 501,09 mL/dia, com um desvio padrão de 191,38 mL no tratamento de resíduos do método de Mohr. No estudo da temperatura, a média foi de 57,69°C, apresentando um desvio padrão de 8,97°C. A temperatura mais elevada registrada durante esse período atingiu 74°C.

5.1.2.2 *Evaporador solar visando a dessalinização da água (ES-2)*

Neste projeto, Brito et al (2020) desenvolveram um evaporador solar de efeito simples, composto por uma bandeja de alumínio com dimensões de 1,50 m x 0,20 m x 0,10 m, proporcionando uma área útil de 0,3 m². A bandeja é pintada com tinta preta fosca para melhor absorção da radiação solar e coberta com dois vidros de 3 mm de espessura, formando uma dupla inclinação. Calhas nas laterais internas recolhem a água condensada nos vidros, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27 – Layout ES - 2



Fonte: BRITO *et al*, (2013)

A água dessalinizada é coletada por uma calha e medida em uma proveta. Para evitar perdas de calor para o ambiente, as laterais externas e a base do dessalinizador são isoladas com poliestireno expandido (EPS) de 25 mm de espessura. O obtido foi de uma produção de água doce média diária de 1,3 litros.

5.1.2.3 *Evaporador solar para concentração de efluentes químicos (ES-3)*

Souza (2016) propôs a utilização de um evaporador solar para concentração de resíduos de laboratório para diminuição do volume total desses efluentes. O projeto consistia na utilização de uma bomba peristáltica capaz de conduzir a solução diluída do recipiente de armazenamento até o distribuidor de líquidos, composto por um tubo de PVC de pequenos orifícios, cujas extremidades estão seladas. Este distribuidor é posicionado na parte superior da placa ao longo de sua extensão. Ao ser expelido pelos orifícios, o fluido se dispersa sobre a superfície da placa, onde realiza trocas térmicas e evapora uma porção de seu solvente, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Layout ES - 3



Fonte: Souza, (2016)

Os experimentos foram realizados mantendo a inclinação da placa fixa em 20° e a vazão mássica de alimentação em $2,5 \text{ Kg/s}$, das 9h até as 16h30. Ao final do dia, verificou-se um aumento dos valores de concentração de 220% e uma redução de volume de 7 litros para 0,2 litros, ou seja, uma redução de 3500%.

5.1.3 Necessidade, Especificações e Metas

Nesta fase do projeto, o objetivo foi reconhecer as exigências do cliente e convertê-las em requisitos, permitindo que as informações sejam mensuráveis para a definição do produto a ser desenvolvido. Uma interpretação foi elaborada com base nas informações adquiridas e nos passos detalhados anteriormente. A Tabela 3 apresenta as necessidades dos usuários traduzidas em especificações do produto.

Tabela 3 - Necessidade, especificações e metas levantados

Necessidades	Especificações/met
Concentrar o efluente líquido de laboratório	Propor um Design de um evaporador de fácil fabricação e montagem
Fonte de energia utilizada deve ser de baixo custo	Utilização do sol como fonte de energia para o ciclo de evaporação
Produto com bom custo-benefício	Aplicar materiais de fácil obtenção no mercado e de baixo custo
Produto com fácil manutenção	Propor mecanismos de fácil montagem/desmontagem, troca de possíveis peças e limpeza
Fácil movimentação	Propor uma estrutura leve que possa ser deslocada sob rodízios

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Os valores-meta das especificações devem ser atingidos nas próximas fases de desenvolvimento do produto.

5.2 PROJETO CONCEITUAL

Nesta fase, procedeu-se à conceptualização do produto, integrando o conhecimento adquirido a partir de trabalhos publicados e das características obtidas na seção anterior. Nos tópicos a seguir estão expostos, de modo gradativo, a definição do tipo de evaporador solar e a escolha dos demais mecanismos que comportarão o sistema de evaporação.

A partir dos projetos similares estudados e da reunião de informações do tópico 2 contido no referencial teórico deste trabalho, foram definidos os seguintes pontos para construção do evaporador:

- Tipo de evaporador;
- Tipo de concentrador e coletor solar;
- Comparativo e seleção de mecanismos dos projetos similares;
 - Tipos de isolantes térmicos;
 - Inclinação do evaporador solar;

5.2.1 Tipo de evaporador

A escolha do tipo de evaporador a ser empregado é influenciada por diversos fatores, tais como a aplicação específica, as restrições de espaço físico, o volume do fluido a ser evaporado, a durabilidade do processo, os custos envolvidos, entre outros. Conforme delineado na seção 2.3, há uma variedade de tipos de evaporadores disponíveis, e a Tabela 4 apresenta uma comparação entre os tipos mencionados.

Tabela 4 - Comparativo dos tipos de evaporadores

(continua)

TIPO DE EVAPORADOR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Circulação natural	• Simplicidade construtiva; • Baixa necessidade de manutenção; • Menor consumo energético que o de circulação forçada;	• Baixa eficiência térmica ao se comparar com o de circulação forçada; • Necessidade de uma fonte de calor externa, geralmente proveniente de uma caldeira; • Sensibilidade ao ambiente; • Equipamento, em geral, de grande porte. • Investimento inicial alto devido a utilização de materiais mais nobres.
Circulação forçada	• Alta eficiência térmica; • Controle preciso da taxa de evaporação; • Versatilidade de aplicações • Baixa sensibilidade ao ambiente. • Menor possibilidade de incrustações;	• Complexidade construtiva; • Dependência de alguns equipamentos mecânicos como bombas; • Alto consumo energético; • Equipamento de grande porte; • Investimento inicial alto. • Necessidade de uma fonte de calor externa, geralmente proveniente de uma caldeira;

Tabela 4 – Comparativo dos tipos de evaporadores

(continuação)

TIPO DE EVAPORADOR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Película ascendente	• Maior taxa de transferência de calor entre fluido e superfície de aquecimento; • Resistência incrustação; • Processo de alta velocidade de evaporação devido a utilização de finas camadas de fluido;	• Requer altura vertical significativa; • Complexidade construtiva e de dimensionamento; • Manutenção complexa e detalhada; • Equipamento, em geral, de grande porte e de custo inicial alto; • Necessidade de uma fonte de calor externa, geralmente proveniente de uma caldeira;
Película descendente	• Menor taxa de transferência de calor entre fluido e superfície de aquecimento ao se comparar com o de película ascendente. • Requer menos altura vertical que o de película ascendente; • Processo de alta velocidade de evaporação devido a utilização de finas camadas de fluido; • Em projetos de menor escala pode utilizar como fonte de calor o sol;	• Manutenção complexa e detalhada; • Equipamento, em geral, de grande porte e de custo inicial alto; • Menor resistência a incrustações; • Manutenção periódica. • Necessidade de uma fonte de calor externa, geralmente proveniente de uma caldeira;

Tabela 4 – Comparativo dos tipos de evaporadores

(conclusão)

TIPO DE EVAPORADOR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Solar tipo aberto	• Simplicidade de construção; • Baixo custo inicial; • Utilização de fonte de energia limpa e de baixo custo; Baixa necessidade de manutenção;	• Sensibilidade ambiental • Limitação de aplicações; • Processo lento de evaporação;
Solar de efeito simples	• Tem melhoria de eficiência com relação ao tipo aberto em menores temperaturas; • Simplicidade de construção; • Baixa necessidade de manutenção; • Utilização de fonte de energia limpa e de baixo custo; • Maior aplicabilidade em escala industrial ou residencial;	• Limitação de capacidade para processos de alta demanda de evaporação; • Processo lento de evaporação; • Sensibilidade ambiental;
Solar de efeito múltiplo	• Alta eficiência térmica; • Bom aproveitamento em diferentes faixas de temperatura; • Utilização de fonte de energia limpa e de baixo custo;	• Construção mais complexa; • Necessidade de manutenção mais detalhada; • Custo inicial mais elevado com relação solar aberto e de efeito simples.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

Os aspectos mencionados na Tabela 4 evidenciam vantagens significativas na aplicação de evaporadores, seja do tipo circulação forçada ou natural, assim como os evaporadores de película. De acordo com Araújo (2015), essas categorias de evaporadores são extensivamente utilizadas em processos que exigem elevadas taxas de evaporação. No seu circuito, esses evaporadores incorporam caldeiras para gerar vapor, responsável por evaporar uma segunda substância presente nos tubos. Por essa razão, são largamente empregados em setores como indústrias químicas,

petroquímicas, de alimentos e em sistemas complexos de evaporação solar da água e na dessalinização.

Contudo, como abordado na seção 2.2, a região metropolitana do Recife, em Pernambuco, registra uma média anual de irradiação global entre 4,5 kWh/m² e 5 kWh/m², o que a torna uma fonte significativa de energia na nossa localidade. Portanto, a utilização de evaporadores solares revela-se vantajosa, uma vez que aproveitam uma fonte de energia gratuita e são projetados de modo mais simplificado e com custos reduzidos. Tais pontos são evidenciados pelos projetos citados nos tópicos 5.1.2, onde a utilização de um evaporador de efeito simples provocou uma evaporação média diária de 500 ml na redução de resíduos do método de Mohr, tópico 5.2.1.1, e de 6,8 litros com a utilização de um sistema de evaporação para concentração de resíduos laboratoriais, conforme o citado no tópico 5.2.1.3.

Deste modo, partindo-se das necessidades, especificações e metas estabelecidas no tópico 5.1.3, o evaporador do tipo solar foi escolhido para o presente projeto.

5.2.2 Tipo de concentrador e coletor solar

Coletores solares são trocadores de calor que transformam radiação solar em calor. O coletor capta a radiação solar, a converte em calor, e transfere esse calor para um fluido (KALOGIROU, 2009).

Conforme mencionado por Prado (2015), é possível aprimorar um evaporador solar ao incorporar a ele um coletor solar, seja do tipo concentrador ou não concentrador, operando em diversas configurações e variando as aplicações quanto a demanda de altas ou moderadas temperaturas. Segundo Kalogirou (2009), os coletores não concentradores, com área de abertura uniforme, são indicados para sistemas de baixa temperatura. Por outro lado, os concentradores solares são mais apropriados em aplicações que exigem temperaturas mais elevadas. Esses concentradores geralmente possuem uma superfície refletora, ou até mesmo lentes refratoras, para direcionar a radiação direta para um foco específico, onde um receptor permite o fluxo do fluido absorvedor de calor.

A partir da definição do evaporador do tipo solar definido no tópico anterior e visando o aumento da velocidade de evaporação do fluido, foi definido para este projeto o coletor solar do tipo concentrador. Os tipos de concentradores solar foram explanados no tópico 2.4 e a Tabela 7 mostra um comparativo com vantagens e

desvantagens na aplicação de cada tipo.

Tabela 5 - Comparativo dos tipos de concentradores solar

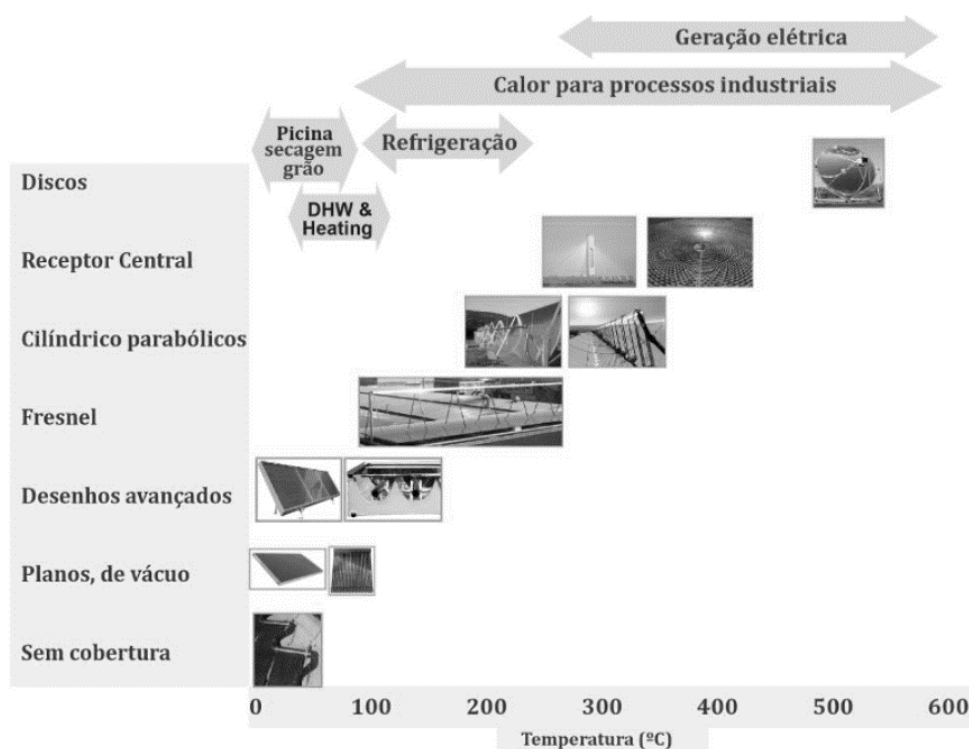
TIPO DE CONCENTRADOR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Plano	• Design simplificado; • Baixo Custo de fabricação;	• Baixa intensidade de concentração solar, ficando entre 2 a 10 sóis.
Parabólico	• Alta intensidade de calor; • Maior eficiência térmica; • Média intensidade de concentração solar, ficando entre 25 a 100 sóis;	• Custo de fabricação mais elevado; • Projeto de maior complexidade; • Necessidade de mecanismos de rastreabilidade.
Disco	• Alta precisão de foco; • Grande versatilidade de aplicações; • Alta intensidade de concentração solar, ficando entre 600 a 100 sóis;	• Custo elevado; • Maior complexidade de confecção; • Necessidade de mecanismos de rastreabilidade.
Torre	• Alta intensidade de concentração solar, ficando entre 150 e 2000 sóis • Grande versatilidade de aplicações;	• Construção complexa; • Custo inicial elevado; • Necessidade de mecanismos de rastreabilidade.
Lente de Fresnel	• Design plano e compacto; • Baixo custo; • Média intensidade de concentração solar, ficando entre 25 a 100 sóis;	• Desempenho inferior ao se comparar com o tipo parabólico e de disco;

Do ponto de vista da concentração e das temperaturas atingidas, os coletores do tipo Fresnel são equivalentes aos coletores tipo parabólico. No entanto, em termos de eficiência, os concentradores lineares Fresnel apresentam um desempenho inferior em comparação com os cilindros parabólicos concentradores, devido à sua menor capacidade de aproveitamento da radiação solar direta. Não obstante, essa menor eficiência é compensada pelo custo mais acessível dos concentradores lineares do tipo Fresnel (ONUFI, 2015).

A aplicação dos concentradores do tipo lente de Fresnel visando a otimização do processo de geração de energia fotovoltaica proposto por Taube e Félix (2020) mostram um aumento 2,90 W para 3,40 W, resultando em um aumento de 17%.

Além disso, como a faixa de temperatura para a concentração de efluente laboratorial a base de água fica em torno dos 100°C, a aplicação de concentradores do tipo Disco e Torre ficam superdimensionados, uma vez que tais mecanismos podem chegar a temperaturas na ordem de 600°C, conforme Figura 29. As lentes de Fresnel, por outro lado, mostram-se adequadas para a faixa dos 100 aos 200°C, temperatura suficiente para que a água entre em processo de evaporação.

Figura 29 - Concentradores solar x Temperatura



Fonte: INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA, (2016)

Deste modo, a partir das faixas de temperaturas de operação, análise de custos e facilidade de manuseio, o concentrador solar tipo lente de Fresnel foi escolhido para compor o evaporador solar deste projeto.

5.2.3 Estudo de projetos similares

Para o estudo dos projetos similares do tópico 5.1.2, levou-se em consideração os principais pontos:

- Disposição do fluido no evaporador;
- Tipo de isolamento térmico utilizado;
- Disposição do evaporador em relação aos raios solares;

5.2.3.1 Disposição do fluido no evaporador

A disposição do fluido no evaporador influencia diretamente no tempo necessário para que a temperatura de evaporação da água, cerca de 100°C, seja alcançada. Uma vez que a temperatura é conduzida ao longo de um volume de água através de um gradiente, conforme no tópico 2.1.1 disposto na fundamentação teórica. A Tabela 6 mostra um comparativo entre os projetos ES-1, ES-2 e ES-3 quanto a disposição do fluido e o seu comportamento quanto ao tempo de evaporação do fluido ao longo do dia.

Tabela 6 - Comparativo entre os projetos similares: disposição do fluido

PROJETO	DISPOSIÇÃO DO FLUIDO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ES – 1	O volume total do efluente é colocado em 5 béqueres e o fluido permanece estático.	Disposição mais simplificada e não há necessidade de outros mecanismos ou equipamentos.	O béquer apresenta uma área de seção reduzida de coleta dos raios solares e uma distribuição de volume no sentido vertical, provocando assim um maior tempo necessário para o processo de evaporação da água;
ES – 2	O volume permanece constante, sendo distribuído dentro de uma bandeja e mantido em estado estacionário. O volume é restaurado com a abertura de uma válvula que bloqueia a passagem da água até o evaporador;	Disposição mais simplificada e não houve outras mecanismos ou equipamentos. Além disso apresenta grande área de coleta de raios solares;	O reservatório da água não tem incremento de temperatura, de modo que entra no evaporador em temperatura ambiente. Além disso, apesar de ser significativamente menor que a do projeto ES – 1, ainda assim provoca um aumento do tempo necessário para evaporação da água
ES – 3	O volume é retido em um reservatório maior e exposto ao sol (evaporador solar aberto) e passa por um ciclo no qual o fluido é liberado em gotas sobre uma placa de madeira coberta com tinta preta, formando uma fina película.	A presença de uma camada fina de efluente ao longo da placa reduz consideravelmente o tempo necessário para a evaporação (similar ao evaporador de película descendente). Além disso, eleva gradualmente a temperatura de todo o efluente no reservatório principal.	A exigência de uma bomba e a eficiência reduzida de um evaporador solar de tipo aberto.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

Evaporadores solar do tipo película demonstram uma grande vantagem na velocidade de evaporação por distribuir em suas tubulações camadas do fluido de modo que a sua vaporização ocorra de forma mais rápida, conforme consta no tópico 2.3.3.

Além disso, para este projeto, a placa de escoamento do efluente será confeccionada em alumínio pintado com preto fosco para melhorar a absorvidade da radiação

5.2.3.2 Tipo de isolamento térmico utilizado

O isolamento térmico tem fundamental importância para que não haja perdas térmicas significativas durante o processo. A Tabela 7 mostra um comparativo entre os projetos similares estudados.

Tabela 7 - Comparativo dos projetos similares: Isolamento Térmico

PROJETO	TIPO DE ISOLAMENTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ES – 1	Todo evaporador construído em madeira	- Baixa condutividade térmica; - Alta vida útil	- Custo inicial alto; - Capacidade de absorver umidade; - Necessidade de manutenção. - Peso elevado;
ES – 2	Poliestireno expandido (Isopor)	- Baixa condutividade térmica; - Baixo custo; - Leveza; - Resistência à umidade.	- Material sensível; - Temperatura máxima entre 100 e 110°C.
ES – 3	Placa de escoamento em madeira	- Baixa condutividade térmica; - Alta vida útil	- Custo inicial alto; - Capacidade de absorver umidade; - Necessidade de manutenção; - Peso elevado;

Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

Um estudo desenvolvido por Navroski *et al* (2010) ao avaliar o isolamento térmica de uma caixa de madeira com pó de arroz e isopor como isolantes térmicos. Em seu estudo concluiu que a caixa com interior de isopor teve a menor variação de temperatura, enquanto a maior variação de temperatura ficou a carga da caixa constituída apenas com a madeira sem isolamento extra.

Além disso, o estudo realizado por Batista e Leite (2021), onde verificou a utilização de poliestireno expandido como isolante térmico em vedações verticais de um quarto residencial, tirou, como conclusão, que o material apresenta uma condutividade térmica de $0,04 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ e que, devido a sua má condutividade térmica, a sua aplicação nas paredes resultou em uma redução no tempo de utilização do aparelho refrigerador, diminuindo de uma média de 8 horas para 4,5 horas diárias. Isso implica que, mesmo com o aparelho desligado por 3,5 horas, o conforto térmico ainda é mantido.

Assim, embora a madeira tenha uma baixa condutividade térmica, ela é significativamente afetada pela umidade local, conforme discorre Moreschi (2012). Portanto, o isolante térmico de poliestireno expandido revelou-se altamente vantajoso para essa aplicação, além de ter um custo inferior quando comparado à madeira.

5.2.3.3 Disposição do evaporador com relação aos raios solares

A inclinação do evaporador solar com relação aos raios solares interfere diretamente na eficiência do sistema, uma vez que a perpendicularidade garante uma maior incidência solar sobre o evaporador. Por exemplo, sistemas de geração de energia fotovoltaica tem rendimento máximo quando estão recebendo essa irradiância a 90° (SILVA, 2012). Assim, em termos gerais, o aumento de eficiência varia de 20 a 50%, dependendo da região e da estação do ano em questão, uma vez que esses fatores impactam a duração dos dias e a variação da posição solar ao longo do período (FROSI, 2018).

Para o evaporador solar ES – 3, o valor estipulado pelos autores foi de 20° , valor esse que se enquadra nos valores habituais de placas fotovoltaicas, que fica no intervalo de 15° a 30° , variando com condições climáticas e geográficas. Entretanto, como citado anteriormente por Silva (2012) e Frosi (2018) manter uma inclinação fixa não garante o máximo aproveitamento da captura dos raios solares.

Deste modo, os projetos ES – 1, ES – 2 e ES – 3 apresentam um posicionamento fixo e que não pode ser variado devido a sua construção. De modo

que o presente projeto, em oposto, promove uma estrutura que possibilita a variação de inclinação da placa de escoamento solar e do concentrador solar tipo Fresnel, a partir de condições climáticas e geográficas.

5.2.4 Resultado do Projeto Conceitual

Com base na revisão bibliográfica, estudos de projetos similares e discussões anteriores, foram identificadas as exigências essenciais para o adequado funcionamento de um evaporador. Diversos modelos de evaporadores podem ser desenvolvidos para aplicação no tratamento e/ou concentração de efluentes químicos. Ao comparar cada princípio de solução e suas desvantagens, é possível definir a arquitetura, ergonomia e estética deste projeto para atender aos atributos mencionados. Após as análises e discussões, foi elaborada a matriz morfológica do Projeto Conceitual para o desenvolvimento de um evaporador solar de filme descendente, e essas informações foram reunidas na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultado do Projeto Conceitual

CARACTERÍSTICAS	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO
Tipo de evaporador	Solar
Tipo de concentrador	Lente de Fresnel
Disposição do fluido no evaporador	Fluido escoando em película descendente em placa metálica isolada
Inclinação do evaporador e do concentrador solar	Móvel
Tipo de isolante térmico	Poliestireno expandido
Reservatório	Confeccionado em material condutivo isolado nas extremidades e pintado com tinta preta em seu interior

Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

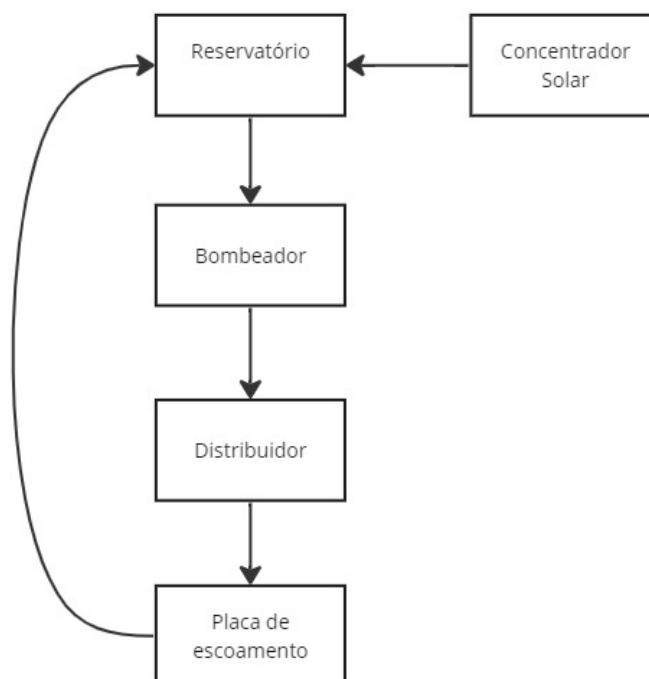
A matriz em questão apresenta as possíveis soluções que o produto em desenvolvimento pode adotar, priorizando a simplicidade e a facilidade de fabricação, além de estar alinhado às especificações e metas definidas em conjunto com o cliente. Este conceito é resultado da combinação dos conceitos discutidos nos tópicos

anteriores. É relevante destacar que isso não descarta a possibilidade de ajustes ou aprimoramentos nas próximas etapas, com base nos princípios de solução de produtos semelhantes e/ou na aplicação de novas tecnologias que melhor se adequem ao evaporador, mantendo a integridade das especificações iniciais. Portanto, o produto final pode sofrer modificações.

A partir disso, criou-se um fluxograma esquemático que delineia o percurso do efluente químico no evaporador solar, resultado do projeto conceitual. Na Figura 30 é apresentada a organização e distribuição dos subsistemas do produto previamente concebido, os quais foram subdivididos em:

1. Concentrador Solar
2. Reservatório
3. Bombeador
4. Distribuidor
5. Placa de escoamento

Figura 30 - Distribuição dos subsistemas do projeto conceitual



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

5.3 PROJETO PRELIMINAR

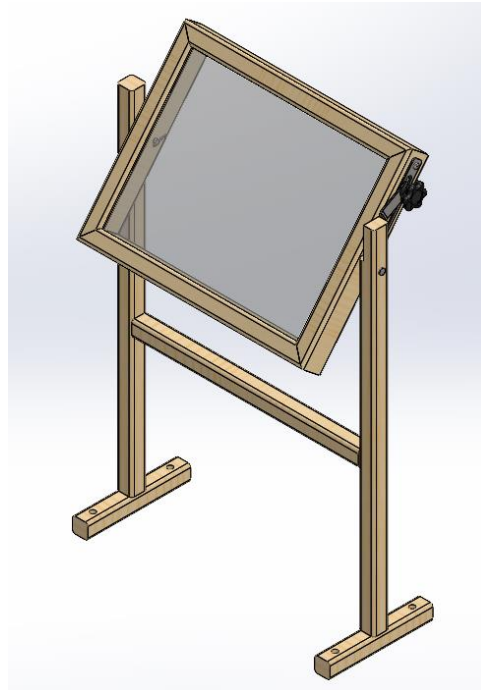
Após a conclusão do Projeto Informacional e do Projeto Conceitual, torna-se essencial definir as configurações do produto de modo a viabilizar tanto seu funcionamento quanto sua produção, alinhando-se às especificações e metas previamente apresentadas.

Segundo Carpes Júnior (2014), a subdivisão do projeto em subsistemas (módulos) é uma forma eficiente de redução de tempo e custo de fabricação de um produto. A confecção proposta do presente projeto de evaporador solar foi confeccionada em uma configuração modular, com o intuito de simplificar o desenvolvimento do produto e antecipar possíveis melhorias em suas configurações, será otimizado apenas o módulo específico, permitindo ajustes futuros.

5.3.1 Concentrador solar

Conforme estabelecido no Projeto conceitual, no tópico 5.2.2, a utilização de concentradores solar tem fundamental importância no aumento da eficiência térmica do sistema. Foi definido o concentrador solar do tipo lente de Fresnel para o evaporador e um sistema de ajuste de inclinação. Neste contexto, para o presente contexto, propõe-se a seguinte configuração para o sistema do concentrador solar tipo lente de Fresnel, conforme Figura 31.

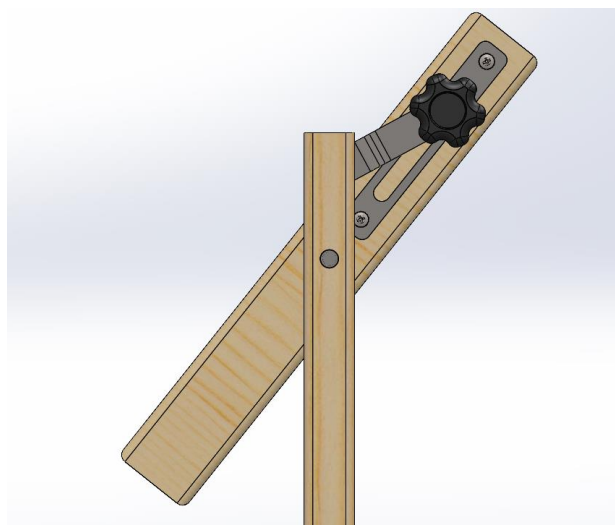
Figura 31 – Layout preliminar do suporte do concentrador



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

O suporte ainda conta com um mecanismo de variação de inclinação do concentrador solar formado por um conjunto manípulo-placa-porca, conforme Figura 32, para garantir ajustes ao longo do dia para garantir a máxima eficiência na concentração dos raios solares no reservatório, conforme discutido no tópico 5.2.3.3.

Figura 32 - Detalhe do mecanismo de regulação

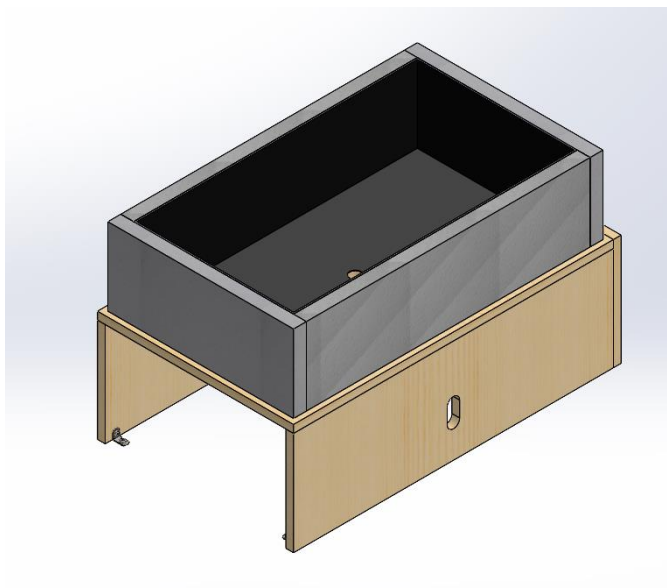


Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

5.3.2 Reservatório

O reservatório desempenha a função de armazenar o fluido e recebê-lo novamente após cada ciclo de evaporação. Como discutido, foi projetado para ser fabricado em material com boa condutividade térmica, possuindo uma capacidade de armazenamento de 25 litros, com a maior parte do volume disponibilizado na direção horizontal. Além disso, o reservatório é pintado internamente com tinta preta e isolado em suas laterais com poliestireno expandido, conforme Figura 33.

Figura 33 – Layout preliminar do reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

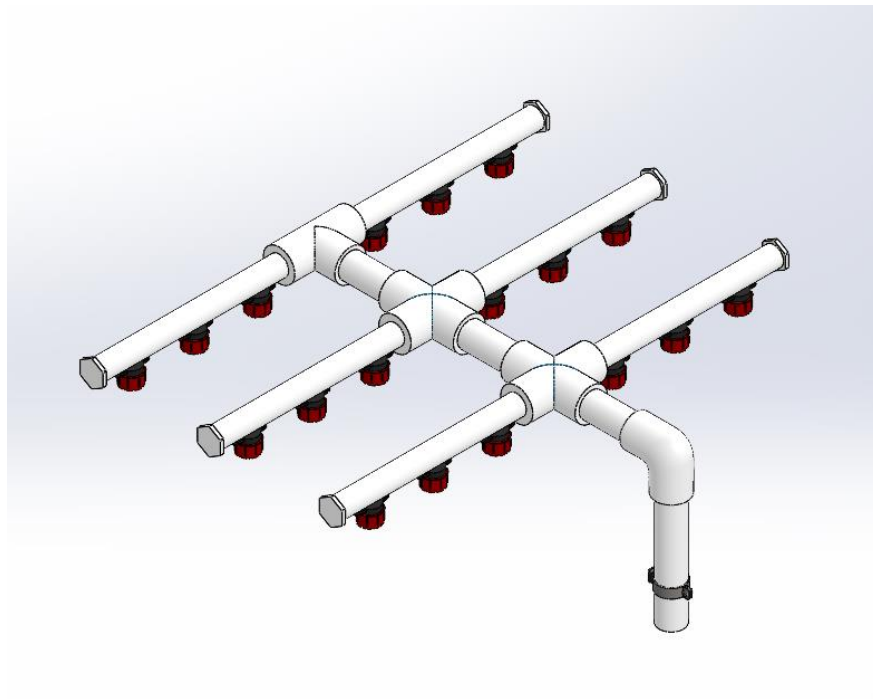
5.3.3 Bombeador

A bomba hidráulica tem a função de deslocar o fluido ao longo da mangueira até o distribuidor. Com o foco nas especificações e metas, definiu-se uma bomba centrífuga não submersível utilizada em aquários de criação de peixes e de drenagem de máquinas de lavar. Dentre os principais motivos para sua escolha está o baixo custo de aquisição e a boa capacidade, apesar do pequeno tamanho, de vazão e pressão em seu recalque. Ela apresenta uma vazão de 15 litros por minuto e uma altura manométrica de 2,5 metros. O modelo proposto segue na Figura 34.

5.3.4 Distribuidor

O distribuidor desempenha a função de assegurar uma distribuição uniforme e controlada do efluente ao longo da placa metálica, visando gerar uma camada fina do fluido sobre sua superfície exposta aos raios solares. Neste projeto, optou-se por utilizar 18 gotejadores do tipo regulável. Esse sistema revela-se altamente eficaz na homogeneização do efluente químico ao longo da chapa de escoamento, garantindo assim a formação de uma camada contínua e fina do fluido.

Figura 36 - Sistema gotejador/distribuidor



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

Segundo o site do fornecedor dos gotejadores, AgroBombas (2024), cada gotejador, Figura 37, pode ser regulado com uma vazão variando entre 0 a 70 litros por hora. Considerando que o bombeador selecionado e definido anteriormente possui uma vazão de 840 litros por hora, cada gotejador deve ser regulado em, no máximo, 40 l/h.

Figura 37 – Gotejador regulável

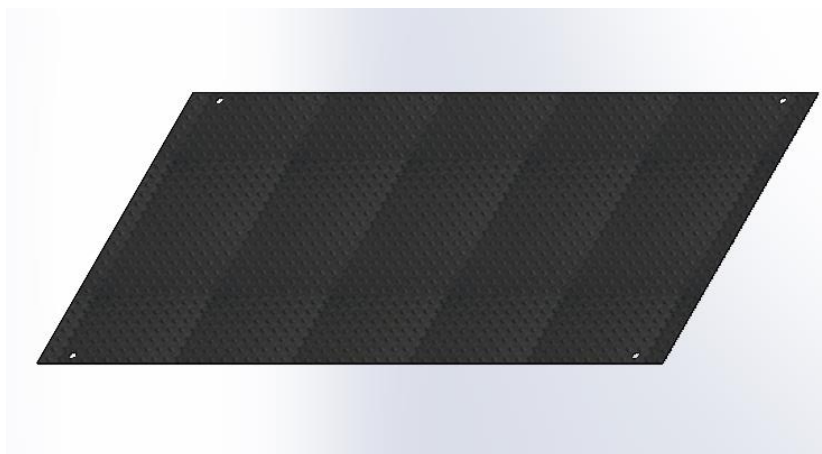


Fonte: AgroBombas, (2024)

5.3.5 Placa de Escoamento

A placa de escoamento metálica tem a função de ser a superfície que receberá a camada de efluente. Além disso, por ser metálica, possui um grande coeficiente de condutividade térmica, ajudando assim na transferência de calor entre a interface da placa e do fluido. Para este projeto, foi estabelecido a utilização de uma placa xadrez de 1 metro de comprimento, 0,5 metros de largura e uma espessura de 1,2 milímetros, confeccionada em alumínio com pintura com tinta preta fosca em sua face superior. Esse tipo de placa contém detalhes em alto relevo que aumenta o tempo de residência do fluido na superfície aquecida da placa, conforme pode ser visto na Figura 38. De modo semelhante ao isolamento do reservatório, a placa será revestida em sua parte inferior com o poliestireno expandido.

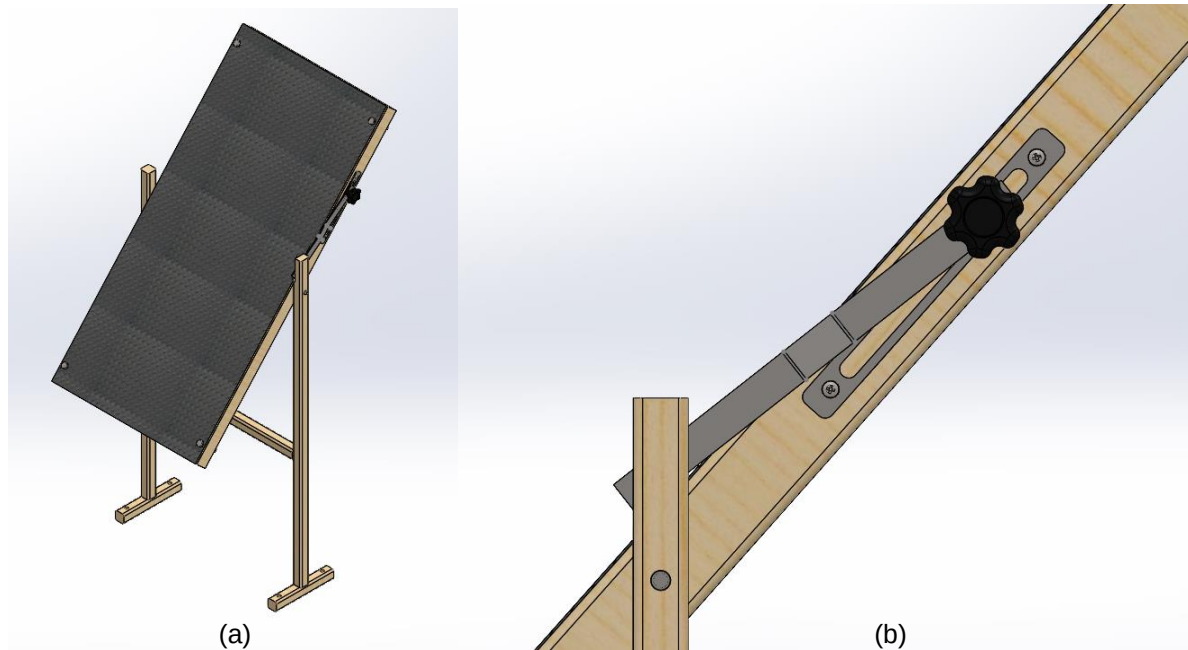
Figura 38 – Placa xadrez de alumínio



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

O suporte da placa também possuirá um sistema de regulagem de inclinação para que a incidência solar sobre a placa seja controlada. A Figura 39 mostra o mecanismo para essa variação de angulação, sistema tal semelhante ao confeccionado para o suporte da lente de Fresnel, tópico 5.3.2.

Figura 39 - Suporte (a) e Regulador (b) da placa xadrez



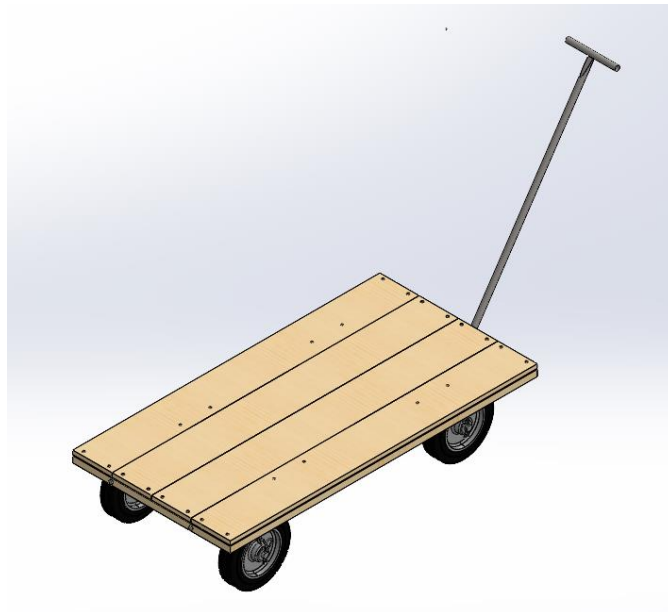
Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

5.3.6 Outras seções

5.3.6.1 Carro de plataforma

Com o objetivo de possibilitar a fácil mobilidade e instalação em diferentes locais, foi projetado um carrinho de plataforma inteiramente fabricado em madeira, equipado com 4 rodas e um sistema de direção, conforme ilustrado na Figura 40.

Figura 40 - Layout do carro de plataforma



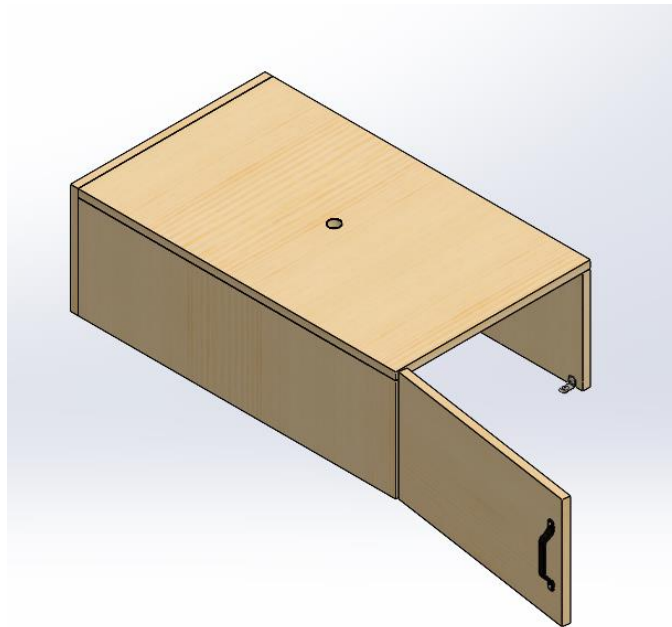
Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

Apesar de existir no mercado diversos modelos de carros de plataforma, esse modelo foi pensado exclusivamente para diminuição de custos, uma vez que ele será fabricado essencialmente de madeira, evitando o uso do aço em sua construção.

5.3.6.2 Casa de bomba e apoio do reservatório

Com o intuito de assegurar o funcionamento submerso e protegido contra as adversidades do ambiente e da exposição solar, a estrutura foi dimensionada para acomodar a bomba. Adicionalmente, essa mesma estrutura foi empregada como suporte para o reservatório, o qual possui uma saída na parte inferior, contribuindo para um design limpo do evaporador solar.

Figura 41 - Layout casa de bomba



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

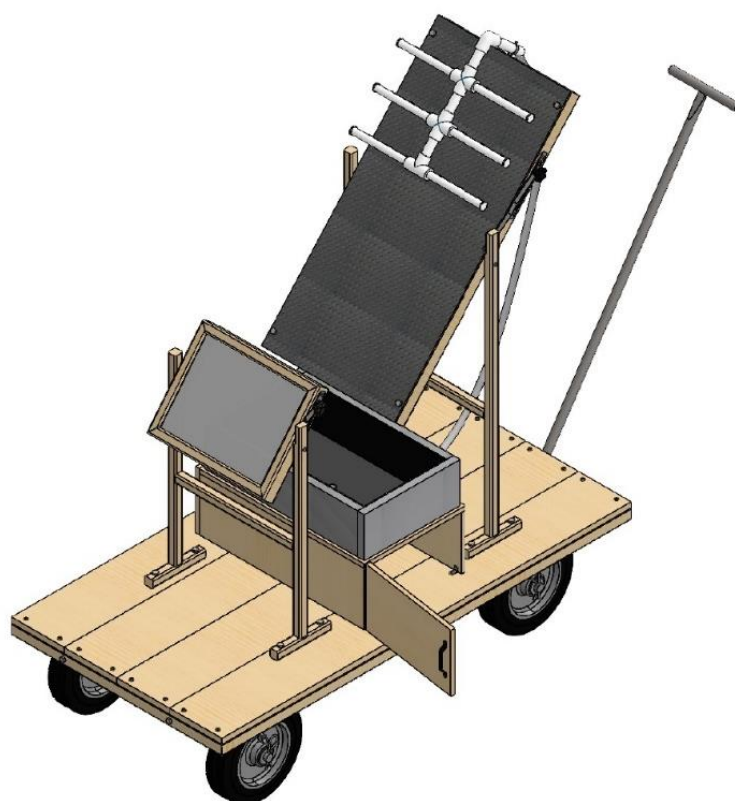
5.4 PROJETO DETALHADO

Esta seção tem como propósito fornecer uma visão geral do projeto, fazendo referência às fichas técnicas que foram desenvolvidas, ao mesmo tempo em que avalia sua viabilidade econômica com base nos custos estimados.

5.4.1 Visão do produto

Os próximos tópicos apresentam uma compilação de vistas explodidas, listas de materiais e quantidades a serem empregadas em cada subsistema previamente definido resultando no evaporador solar conforme a Figura 42. Informações mais detalhadas, como dimensões, especificações de materiais e procedimentos de fabricação podem ser encontradas nos apêndices.

Figura 42 - Layout do Evaporador Solar



Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

5.4.1.1 Suporte da Lente de Fresnel

A ficha técnica apresentada no Apêndice A contém o inventário de peças e o manual de montagem da versão final do suporte regulador da lente de Fresnel. As especificações completas de todas as partes que integram o subsistema estão disponíveis nos apêndices seguintes correspondentes aos códigos de cada peça.

5.4.1.2 Reservatório e Base do Reservatório

A ficha técnica apresentada no Apêndice B contém o inventário de peças e o manual de montagem da versão final do Reservatório e da Base do Reservatório. As especificações completas de todas as partes que integram o subsistema estão disponíveis nos apêndices seguintes correspondentes aos códigos de cada peça.

5.4.1.3 Sistema Gotejador

A ficha técnica apresentada no Apêndice C contém o inventário de peças e o

manual de montagem da versão final do Sistema Gotejador. As especificações completas de todas as partes que integram o subsistema estão disponíveis nos apêndices seguintes correspondentes aos códigos de cada peça.

5.4.1.4 Placa de escoamento

A ficha técnica apresentada no Apêndice D contém o inventário de peças e o manual de montagem da versão final da Placa xadrez de escoamento. As especificações completas de todas as partes que integram o subsistema estão disponíveis nos apêndices seguintes correspondentes aos códigos de cada peça.

5.4.1.5 Carro de plataforma

As fichas técnicas apresentadas nos Apêndices E, F e G apresentam o inventário de peças e o manual de montagem da versão final do Sistema Gotejador. As especificações completas de todas as partes que integram o subsistema estão disponíveis nos apêndices seguintes correspondentes aos códigos de cada peça.

5.4.1.6 Visão Geral do Evaporador Solar

Por fim, o Apêndice H apresenta o Evaporador Solar em sua versão final, resultado da reunião dos subsistemas definidos. Nele está disposto os códigos de todas as montagens/subsistemas já citados anteriormente.

5.4.2 Custo do Evaporador Solar

A estimativa de custo do projeto foi realizada com base na Tabela 9, a qual enumera os materiais presentes na construção do evaporador solar concebido neste projeto, juntamente com o valor de mercado das peças que serão adquiridas.

Tabela 9 - Estimativa de custos do Evaporador Solar

Componente	Unid	Qtd	Custo total
Lente de Fresnel (400 x 300) mm	1	Unit	R\$ 150,00
Alumínio Xadrez 1.2mm (1,00 X 0,50 m)	1	unit	R\$ 179,90
Eletrobomba 220v 34w 189d3089p004	1	unit	R\$ 63,60
Sarrafo de pinho 40 x 40	12	m	R\$ 240,00
Placas de madeira de pinho (2,2 x 1,60 m)	8	unit	R\$ 400,00
Kit de parafusos e porcas	1	Kit	R\$ 100,00
Isolante térmico (25x1200x600)	5	Unit	R\$ 200,00
Reservatório (Chapa de alumínio)	1	Unit	R\$ 80,00
Gotejador regulável	18	Unit	R\$ 36,00
Tubo PVC 20 x 200mm	1	m	R\$ 17,50
Tubo de PVC 10 x 1200 mm	1	Unit	R\$ 12,50
Tampão 10mm	6	Unit	R\$ 6,00
Joelho 20 mm	1	Unit	R\$ 2,00
Cruzeta em PVC de 20mm para 10 mm	2	Unit	R\$ 10,20
Tê em PVC de 20mm para 10mm	1	Unit	R\$ 8,75
Mangueira Trançada	3	M	R\$ 15,00
Aço para confecção dos eixos e dos suportes dos eixos	30	kg	R\$ 500,00
Mão de Obra (50% em cima do valor dos materiais)	1	Unit	R\$ 1.010,73
Valor total			R\$ 3.032,18

Fonte: Elaborado pelo autor, (2024)

Deste o modo, o custo estimado para construção do evaporador solar proposta é de R\$ 3.032,18 (três mil, trinta e dois reais e dezoito centavos).

6 CONCLUSÕES

Em suma, este projeto teve como objetivo o desenvolvimento layout de um evaporador solar para reduzir o volume de efluentes líquidos oriundo dos laboratórios químicos do LITPEG-UFPE, partindo da aplicação da metodologia de desenvolvimento de um produto. A implementação desta tecnologia representa uma abordagem promissora para lidar com o desafio crescente de tratamento de resíduos laboratoriais nocivos à natureza.

As discussões inicialmente levantadas mostram os benefícios ambientais e econômicos da adoção do evaporador solar como uma alternativa sustentável aos métodos convencionais de tratamento de efluentes líquidos. A redução significativa no volume de resíduos líquidos e os custos operacionais associados refletem o potencial desta tecnologia para promover práticas de gestão de resíduos mais eficientes e ecologicamente responsáveis.

Os resultados obtidos são focados para uma futura construção deste evaporador solar, conforme as próximas etapas previstas na metodologia de desenvolvimento de um produto. Assim, recomenda-se que o LITPEG-UFPE proceda com a implementação do projeto piloto do evaporador solar, seguida por uma avaliação abrangente de seu desempenho, com a coleta de dados e posterior análise, uma vez que questões relacionadas à manutenção e monitoramento ambiental devem ser consideradas para garantir a eficácia do projeto e/ou promover melhorias.

Por fim, espera-se que este trabalho contribua para avanços significativos na gestão de resíduos líquidos nos laboratórios químicos, promovendo a sustentabilidade.

6.1 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Fabricação do evaporador solar;
- Testes de validação do produto;
- Métodos de automatização da inclinação da placa e do concentrador solar;
- Aplicação de calhas de vidro para condensação da água para sua reutilização;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroBombas. **Kit Gotejador SD-2502: 0 a 70 L/h PC 100**. Disponível em: https://www.agrobombas.com.br/irrigacao/gotejamento/gotejador/kit-gotejador-sd-2502-0-a-70-lh-pc-100?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA0bWvBhBjEiwAtEsoW9C-uD-9ha4rAkdTxuHz0NcoRQuWh7uGHw9XEI1sGJjNNQf9TnUHhoCJOQQAvD_BwE. Acesso em: 10 mar. 2024.
- ALMEIDA, Geraldo Samuel Marques. **Pesquisa e desenvolvimento de um sistema termoeletrico do tipo linear fresnel reflector**, 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA, Lisboa, Portugal.
- ARAUJO, Everaldo Cesar da Costa; **Operações Unitárias Envolvendo Transmissão de Calor**. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo-SP, 2015.
- BACK, Nelson *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**, 1ª ed. Barueri: Manole, 2008.
- BARBOSA, Vinícius Ribeiro. **Construção de um protótipo de um concentrador solar de calha parabólica**. 2021. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.
- BATISTA, V. V.; SANTOS LEITE, Y. G. S. Redução do consumo de energia elétrica ao utilizar poliestireno expandido como isolante térmico em vedações verticais. **Construção seca: Um estudo comparativo com a construção convencional**. Minas Gerais: Poisson, p. 14-22, 2021.
- BIANCHINI, Henrique Magalhães; **avaliação comparativa de sistemas de energia solar térmica**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao projeto de produtos**. Bookman Editora, 2014.
- COELHO, João Carlos Martins. **Energia e fluidos: transferência de calor**. Volume 3. Editora Blucher, 2016.
- ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. **Transferência de Calor e Massa – Uma abordagem prática**. 4ª ed. Porto Alegre: Mc Graw-hill, 2012.
- CRESESB. **Energia solar: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2006.
- DAVID, G. R. *et al.* Estudo e desenvolvimento de adimensional para análise de dados de evaporação da água utilizando energia solar. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 390-395, 2014.

BARTMER, L. *et al.* Redução do volume de um resíduo de azul de metileno utilizando energia solar. In: **XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. 2017.

DE BRITO, Yohanna Jamilla Vilar *et al.* Estudo experimental de um dessalinizador solar do tipo bandeja com dupla inclinação para potabilização de água no semiárido paraibano. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 2, p. 156-165, 2020.

DINCER, Ibrahim; ZAMFIRESCU, Calin. **Advanced power generation systems**. Academic Press, 2014.

FÁBREGA, Francine de Mendonça. **Química Geral e Experimental**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.

Frigelar. **Bomba Drenagem Água Compatível Lavadora Brastemp Consul 326031812 Vortex 220V Askoll**. Disponível em: https://www.frigelar.com.br/bomba-drenagem-agua-compativel-lavadora-brastemp-consul-326031812-vortex-220v-askoll/p/kit5903?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwqdqvBhCpARIsANrmZhP5s5lp3umU5nGCWUfEgHrvklo8LChFTPLknkqD5OAWiTXfAV3FDP8aAghjEALw_wcB. Acesso em 16 mar. 2024

FROSI, Fabiano *et al.* Análise comparativa da produção de energia de um seguidor solar de dois eixos para a região de Farroupilha-RS. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018.

GARCIA, Dário M. **Forno solar com lentes de Fresnel e aplicações em laser solar**. 2013. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

GARG, H. P. *et al.* **Solar energy: fundamentals and applications**. Tata McGraw-Hill Education, 2000.

INCROPERA, F.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. BIRD, R.B.

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. EEN18704 AULA03, 2016. Campus São José, Praia Comprida, Santa Catarina Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/index.php/EEN18704_AULA03. Acesso em: 10 de março de 2024.

KALOGIROU, S. A. **Solar Energy Engineering**. Burlington, MA: Academic Press, 2009.

KREITH, F.; KREIDER, J. F. **Principles of Sustainable Energy**. Boca Raton (FL): CRC Press, 2011.

LEITE, Wildson Ursulino. **Destilação solar para fins de dessalinização: aplicação de materiais alternativos e tecnológicos para a produção mais eficiente de água potável**. 2019. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

LEUTZ, Ralf; SUZUKI, Akio. **Nonimaging Fresnel lenses: design and performance of solar concentrators**. Springer, 2012.

MACEDO, Henriete. **Tratamento de águas com altas concentrações de cloretos**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. . Acesso em: 18 mar. 2023.

MACHADO, Marcio Cardoso; TOLEDO, Nilton Nunes. **Gestão do processo de desenvolvimento de produtos: uma abordagem baseada na criação de valor**. Atlas, 2008.

MARANHÃO, Diego Carvalho. **Projeto e construção de um concentrador solar tipo Fresnel linear**. 2016. [111] f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MARINHO, F. J. L. *et al.* Destilador Solar Para Fornecimento de Água Potável. Capítulo III. Livro: **Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro**. Campina Grande: EPGRAF, 2014. Volume 1

MARTINS, F. R. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar 2**. 2017.

MORESCHI, J C. **Propriedades da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, Curitiba-PR, 2012.

NAVROSKI, M. C. *et al.* **Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas**. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 1, n. 1, p. 10.12953/2177-6830. v01n01a04, 2010.

NREL. **Glossary of solar radiation resource terms: National Renewable Energy Laboratory**. 2017.

Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe - ONUDI. (2015). **Energia e mudança climática**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis.

ORTOLÁ, M. O.; FITO, P. J. S.; CASTRO, M. G. **Tipos de Evaporadores en la Industria Alimentaria**. 2018.

PANKRATZ, T. M.; **Evaporation - A Wastewater Treatment Alternative**. **Water/Engineerring & Management**, 1994. P.42-48.

PORTAL Energia Heliotérmica. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/energia-heliotermica-entenda-como-funciona>. Acesso em 05 fev. de 2024.

PRADO, Gustavo Otero. **Concepção e avaliação de concentradores solares do tipo disco e lente de fresnel para dessalinização de água**. 2015. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2015.99>.

PRADO, L. C. **O Sol Como Fonte de Energia**. Revista Mensal de Cultura, São Paulo, v. 1, p. 1-34, 1980.

ROZENFELD, Henrique *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP. Saraiva. 2006.

SANTORI, E. **Solar still versus solar evaporator: A comparative study between their thermal behaviors**. Solar Energy, v. 56, n. 2, p. 199–206, 1996

DA SILVA, Juliana Monteiro *et al.* **Tratamento de resíduos do método de Mohr utilizando evaporador solar e redução com bissulfito**. Revista E-XACTA, v. 8, n. 2, p. 73-81, 2015.

SILVA, MC da C. **Estudo Comparativo de um Painel Solar Fotovoltaico Fixo vs Móvel**. 2012. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Braga.

SOARES, Clarissa *et al.* **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**.

Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SOUZA, Tânia Regina. **Utilização de um evaporador solar na redução do volume de um efluente laboratorial**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 4, p. 490-503, 2016.

SOUZA, Tânia Regina. **Proposta de um evaporador de filme descendente com promotor de película usando energia solar**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, Tânia Regina de *et al.* Performance of a solar energy powered falling film evaporator with film promoter. **Energy conversion and management**, v. 49, n. 12, p. 3550-3559, 2008.

TAUBE, J.; FELIX, J L P. **Otimização do processo de geração de energia solar fotovoltaica usando um simulador de refrator móvel**. Jornada de iniciação científica e tecnológica, v. 1, n. 10, 2020.

Veolia Water Technologies. **Do resíduo ao recurso: evaporação de efluentes farmacêuticos e cosméticos**, 2020. Disponível em:

<https://www.veoliawatertechnologies.com/latam/pt/media/artigos/do-residuo-ao-recurso-evaporacao-de-efluentes-farmaceuticos-e-cosmeticos>. Acesso em: 14 mar 2024.

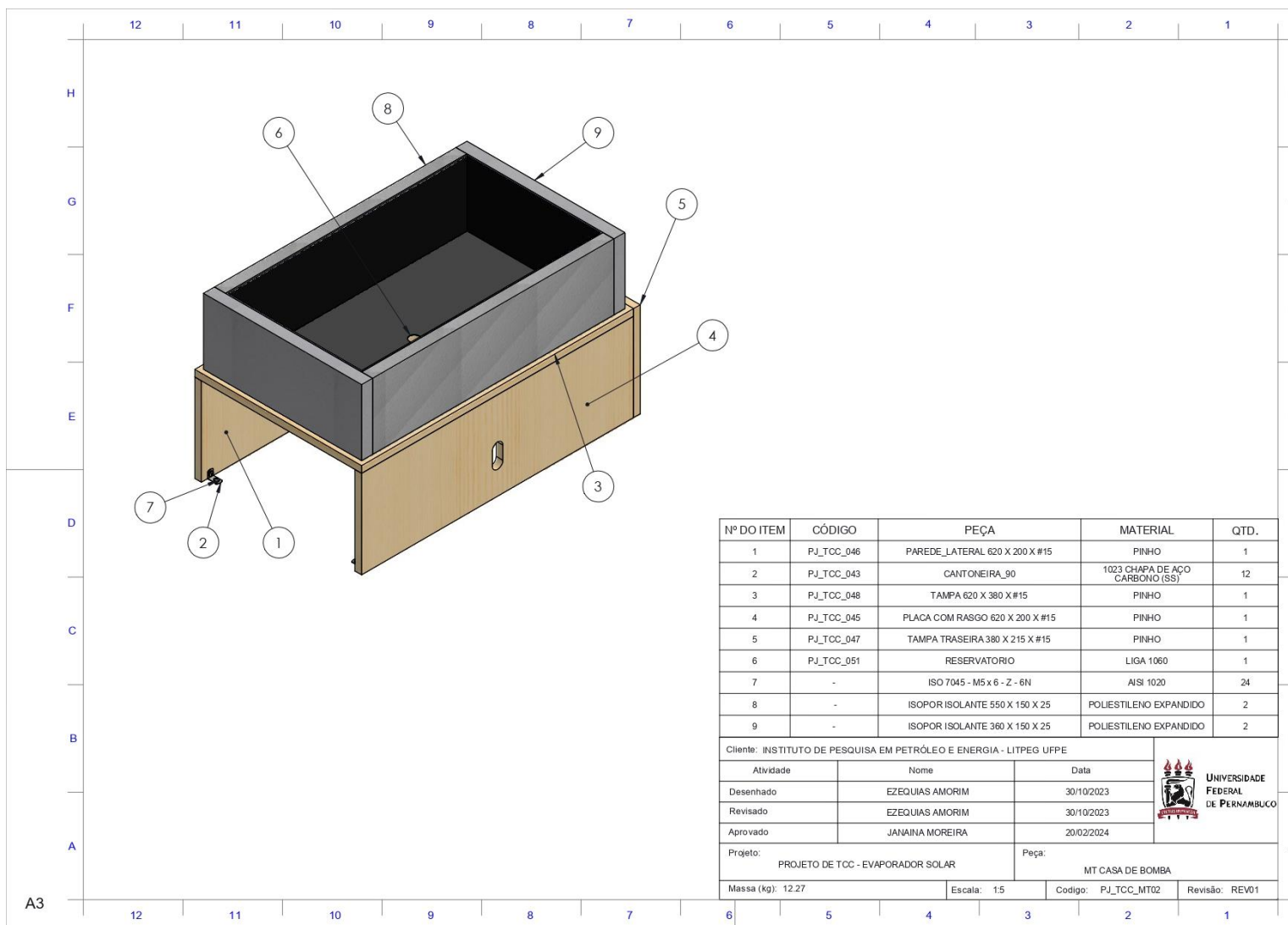
Veolia Water Technologies. **Tratamento de Água. Evaporação: tecnologia sustentável**, 2022. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/evaporacao-tecnologia-sustentavel/>. Acesso em: 14 mar 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

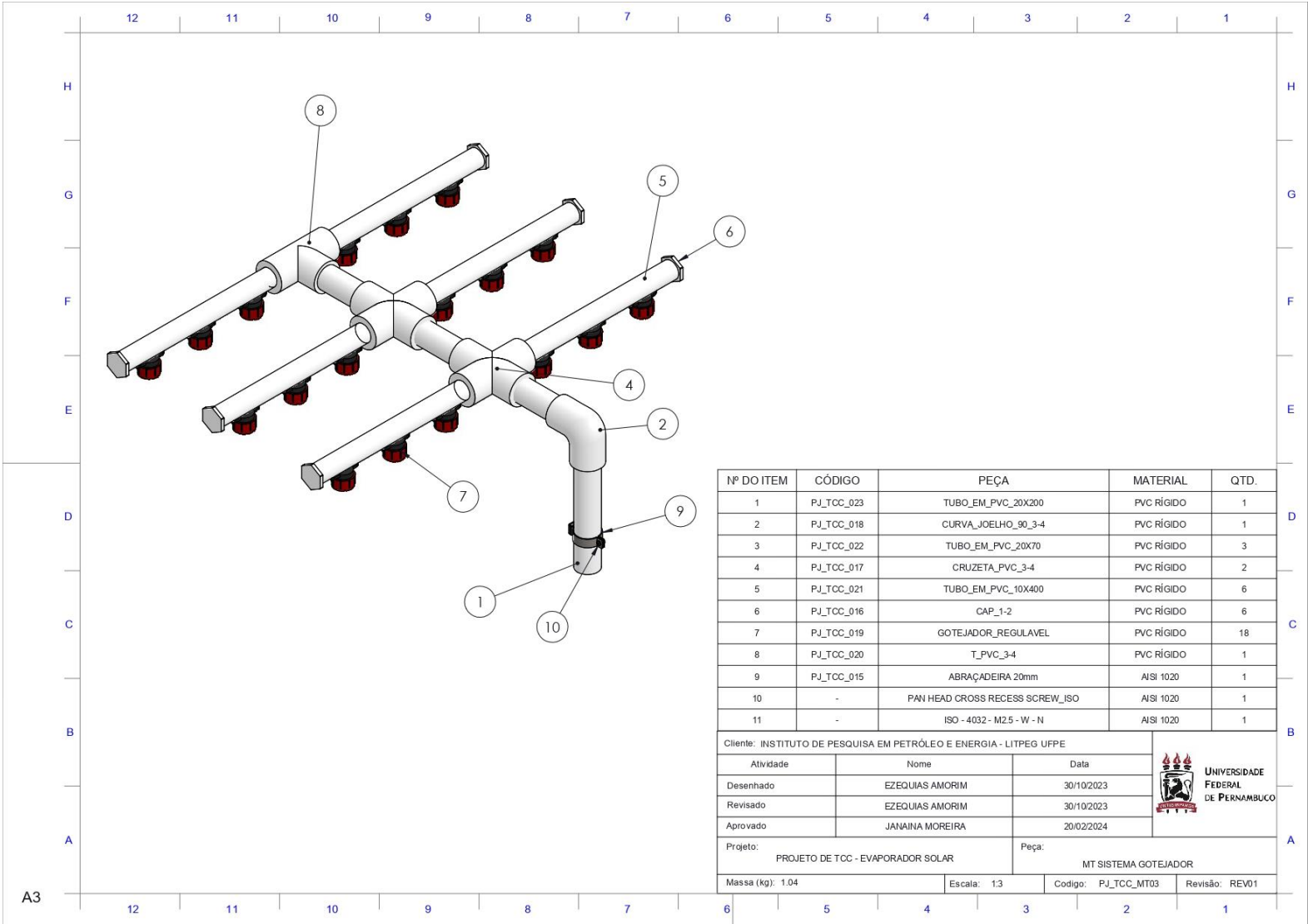
ZAMFIRESCU, C.; DINCER, I. **Assessment of a new integrated solar energy system for hydrogen production**. Solar Energy, v. 107, n. 0, p. 700 – 713, 2014. ISSN 0038-092X.

APÊNDICES

APÊNDICE B – LISTA DE PEÇAS DO DO RESERVATÓRIO



APÊNDICE C – LISTA DE PEÇAS DO SISTEMA GOTEJADOR



APÊNDICE D – LISTA DE PEÇAS DA PLACA XADREZ

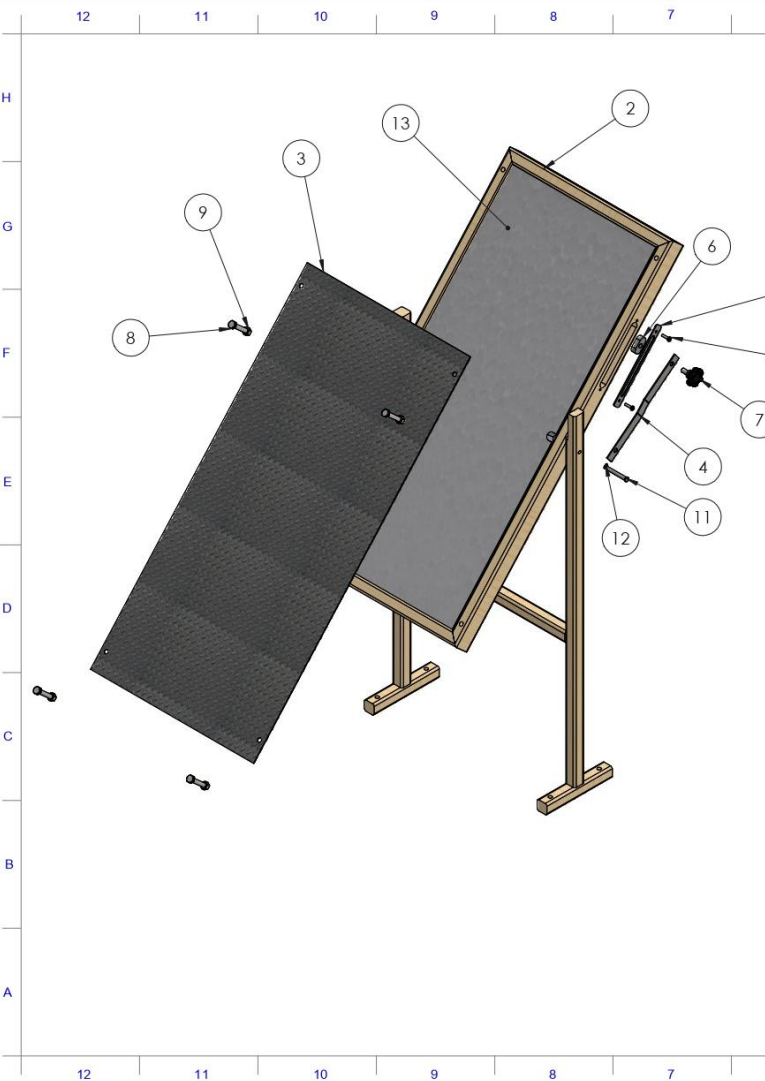


Diagram illustrating the assembly of a chessboard (Placa Xadrez) with numbered components (1-13) and their corresponding parts list.

Nº DO ITEM	CÓDIGO	PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	PJ_TCC_036	HASTE VERTICAL DA MESA	PINHO	1
2	PJ_TCC_040	SUPORTE DA PLACA CORRUGADA	PINHO	1
3	PJ_TCC_033	CHAPA CORRUGADA XADREZ	LIGA 1060	1
4	PJ_TCC_034	CHAPA DE REGULAGEM GIRATÓRIA 270.4 X 20 X #2,5	AISI 1020	1
5	PJ_TCC_039	PLACA RANHURADA DE AJUSTE 200 X 20 X #2,5	AISI 1020	1
6	PJ_TCC_030	PORCA DE AJUSTE DA MESA	AISI 1020	1
7	PJ_TCC_037	MANIPULO DE AJUSTE	AISI 1020	1
8	-	DIN EN 24014 - M10 X 65 X 26-N	AISI 1020	4
9	-	HEXAGON NUT ISO 4034 - M10 - N	AISI 1020	4
10	-	ISO 7045 - M5 X 20 - Z - 20N	AISI 1020	2
11	PJ_TCC_038	PINO	AISI 1020	2
12	PJ_TCC_035	FOQUILHA_PINO	AISI 1020	2
13	-	ISOPOR ISOLANTE 940 X 440 X #25	POLIESTILENO EXPANDIDO	1

Cliente: INSTITUTO DE PESQUISA EM PETRÓLEO E ENERGIA - LITPEG UFPE

Atividade	Nome	Data
Desenhado	EZEQUIAS AMORIM	30/10/2023
Revisado	EZEQUIAS AMORIM	30/10/2023
Aprovado	JANAINA MOREIRA	20/02/2024



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

Projeto: PROJETO DE TCC - EVAPORADOR SOLAR

Peça: MT PLACA XADREZ

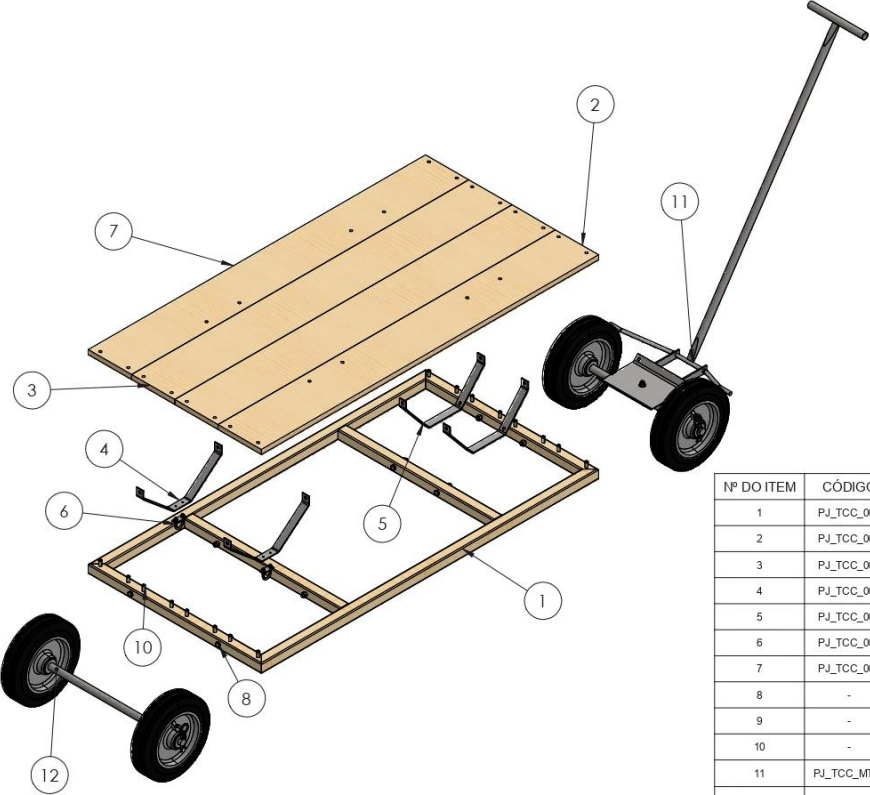
Massa (kg): 14.53

Escala: 1:8

Codigo: PJ_TCC_MT04

Revisão: REV01

APÊNDICE E – LISTA DE PEÇAS DO CARRO DE PLATAFORMA



Exploded view diagram of a platform cart assembly. The diagram shows the main wooden platform (1), the base frame (2), and the wheels (12). Callouts 1 through 12 identify specific components: 1 - Base de madeira do carro; 2 - Chapa perfurada da base direita; 3 - Chapa cega da base; 4 - Apoio dianteiro do eixo; 5 - Apoio traseiro do eixo; 6 - U-bolt; 7 - Chapa perfura da base esquerda; 8 - DIN EN 24014 - M10 X 60 X 26-N; 9 - Hexagon nut ISO 4034 - M10 - N; 10 - DIN 7341-A10X65-ST-AF-61; 11 - MT eixo girante; 12 - MT eixo fixo.

Nº DO ITEM	CÓDIGO	PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	PJ_TCC_003	BASE DE MADEIRA DO CARRO	PINHO	1
2	PJ_TCC_006	CHAPA PERFURADA DA BASE DIREITA	PINHO	1
3	PJ_TCC_004	CHAPA CEGA DA BASE	PINHO	2
4	PJ_TCC_001	APOIO DIANTEIRO DO EIXO	AISI 1020	2
5	PJ_TCC_002	APOIO TRASEIRO DO EIXO	AISI 1020	2
6	PJ_TCC_007	U_BOLT	AISI 1020	2
7	PJ_TCC_005	CHAPA PERFURA DA BASE ESQUERDA	PINHO	1
8	-	DIN EN 24014 - M10 X 60 X 26-N	AISI 1020	8
9	-	HEXAGON NUT ISO 4034 - M10 - N	AISI 1020	8
10	-	DIN 7341-A10X65-ST-AF-61	AISI 1020	16
11	PJ_TCC_MT06	MT EIXO GIRANTE	VIDE LISTA DE PEÇAS DO EIXO GIRANTE	1
12	PJ_TCC_MT07	MT EIXO FIXO	VIDE LISTA DE PEÇAS DO EIXO FIXO	1

Cliente: INSTITUTO DE PESQUISA EM PETRÓLEO E ENERGIA - LITPEG UFPE

Atividade	Nome	Data
Desenhado	EZEQUIAS AMORIM	30/10/2023
Revisado	EZEQUIAS AMORIM	30/10/2023
Aprovado	JANAINA MOREIRA	20/02/2024

Projeto: PROJETO DE TCC - EVAPORADOR SOLAR

Peça: MT BASE CARRO PLATAFORMA

Massa (kg): 37.85

Escala: 1:12

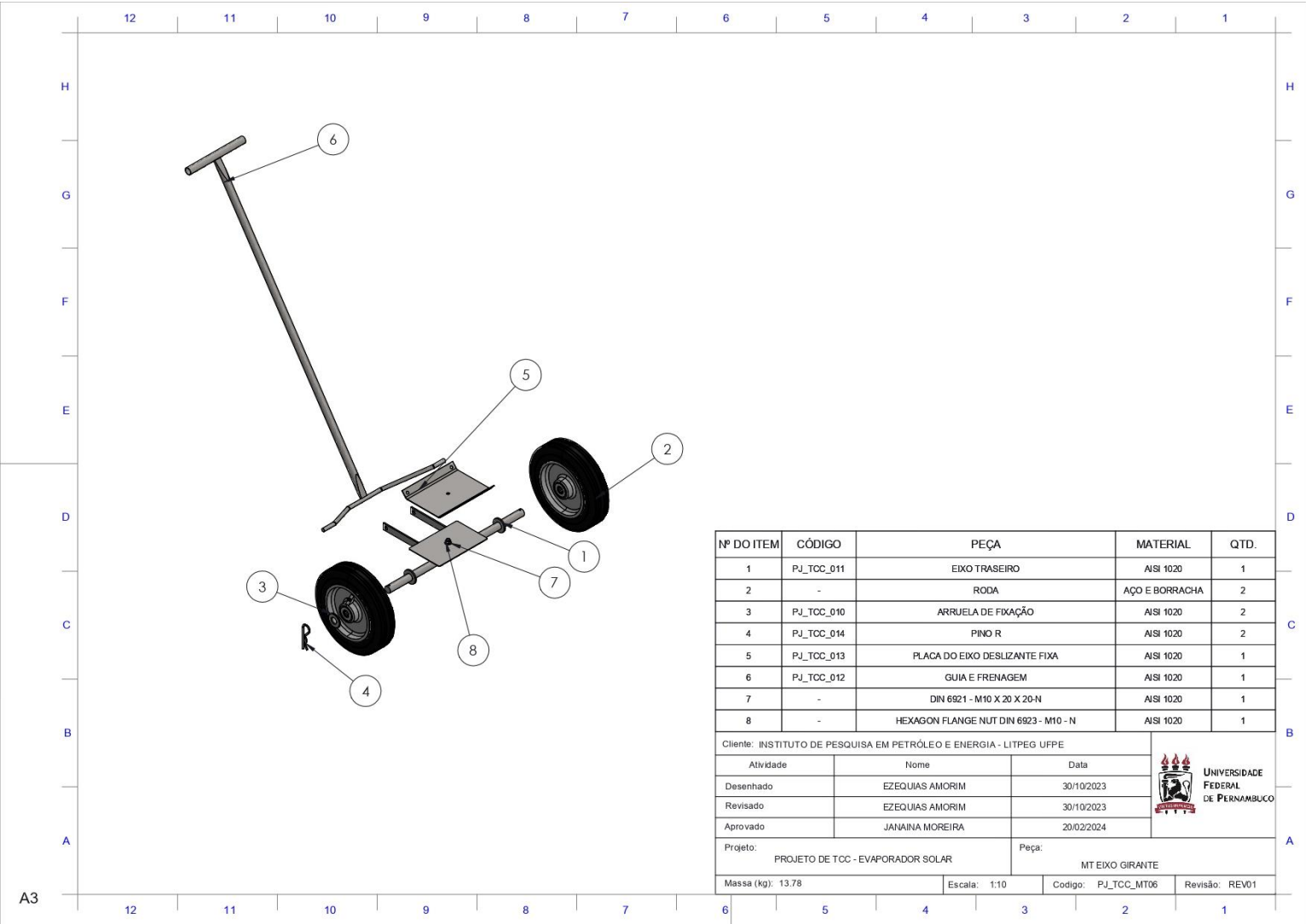
Código: PJ_TCC_MT05

Revisão: REV01

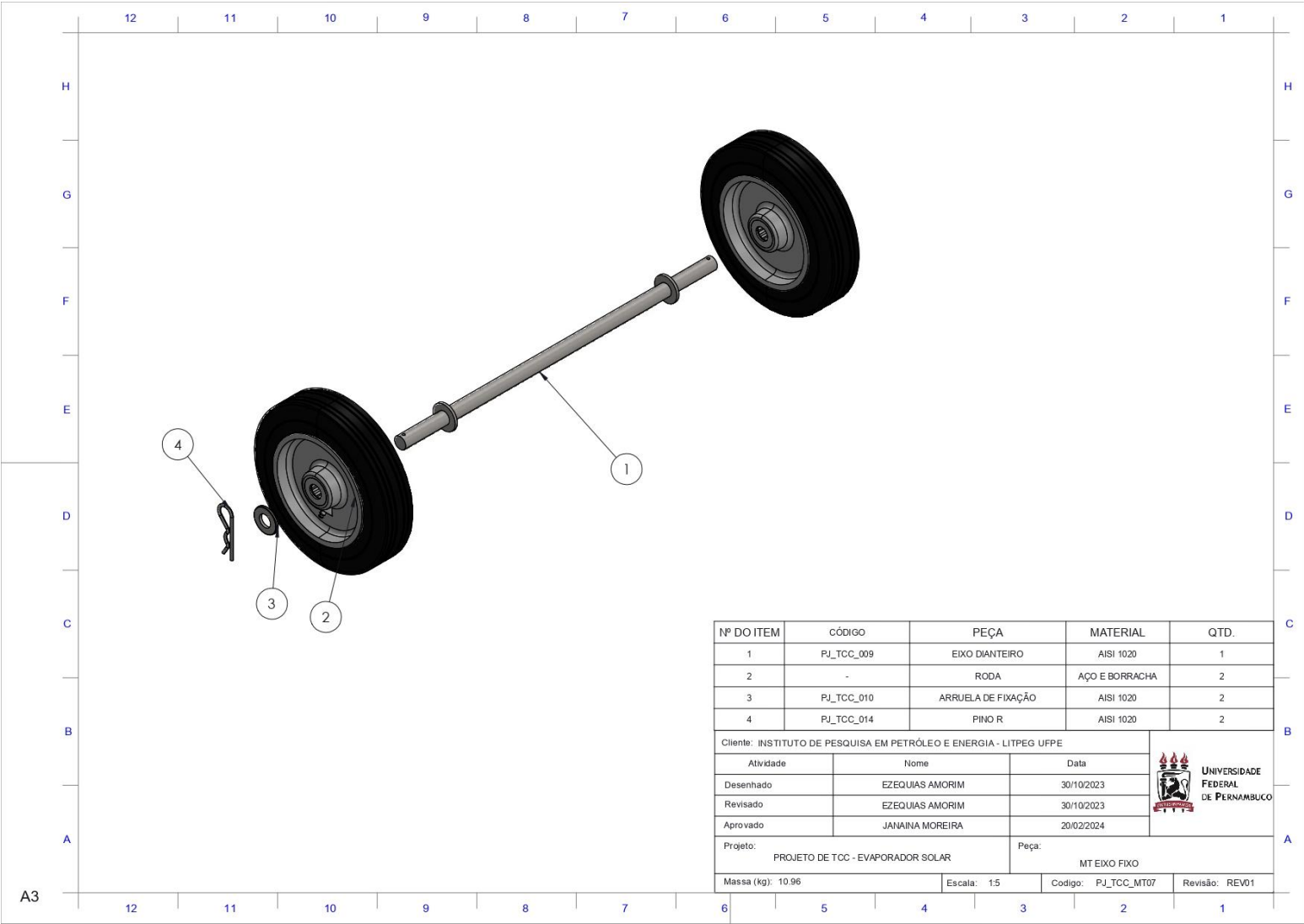


UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

APÊNDICE F – LISTA DE PEÇAS DO EIXO GIRANTE TRASEIRO



APÊNDICE G – LISTA DE PEÇAS DO EIXO DIANTEIRO FIXO



APÊNDICE H – MONTAGEM GERAL DO EVAPORADOR SOLAR

Nº DO ITEM	CÓDIGO	PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	PJ_TCC_MT05	MT BASE CARRO PLATAFORMA	VIDE PJ_TCC_MT05	1
2	PJ_TCC_MT01	MONTAGEM SUPORTE LENTE DE FRESNEL	VIDE PJ_TCC_MT01	1
3	PJ_TCC_MT04	MT PLACA XADREZ	VIDE PJ_TCC_MT04	1
4	PJ_TCC_MT07	MT EIXO FIXO	VIDE PJ_TCC_MT07	1
5	PJ_TCC_MT06	MT EIXO GIRANTE	VIDE PJ_TCC_MT06	1
6	PJ_TCC_MT03	MT SISTEMA GOTEJADOR	VIDE PJ_TCC_MT03	1
7	PJ_TCC_MT02	MT CASA DE BOMBA	VIDE PJ_TCC_MT03	1
8	-	MT PORTA E DOBRADIÇA	PINHO E AÇO	1
9	-	MT BOMBA E BASE	AÇO 1020	1
10	-	MANGUEIRA RECALQUE	PVC COM FIBRA DE POLIÉSTER	1
11	-	DIN EN 24014 - M10 X 65 X 26-N	AISI 1020	8
12	-	HEXAGON NUT ISO 4034 - M10 - N	AISI 1020	12
13	-	ISO 7045 - M5 X 6 - Z - 6N	AISI 1020	24
14	-	DIN EN 24018 - M10 X 20-WN	AISI 1020	4
15	-	MANGUEIRA SUÇÃO	PVC COM FIBRA DE POLIÉSTER	1
16	-	PAN HEAD CROSS RECESS SCREW DIN	AISI 1020	2

Cliente: INSTITUTO DE PESQUISA EM PETRÓLEO E ENERGIA - LITPEG UFPE

Atividade	Nome	Data
Desenhado	EZEQUIAS AMORIM	30/10/2023
Revisado	EZEQUIAS AMORIM	30/10/2023
Aprovado	JANAINA MOREIRA	20/02/2024

Projeto: PROJETO DE TCC - EVAPORADOR SOLAR

Peça: MT EVAPORADOR SOLAR

Massa (kg): 93.59

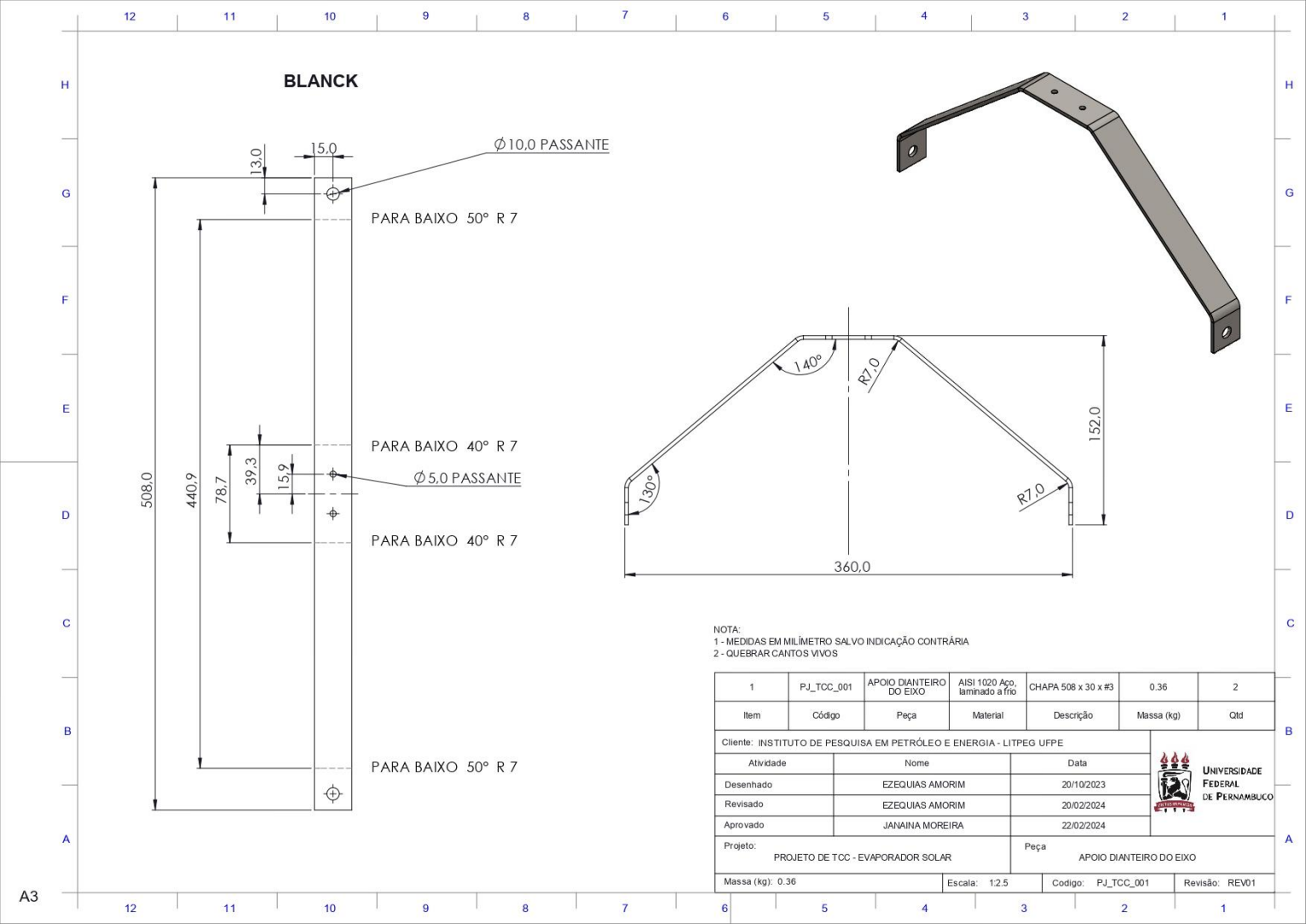
Escala: 1:20

Código: PJ_TCC_MT08

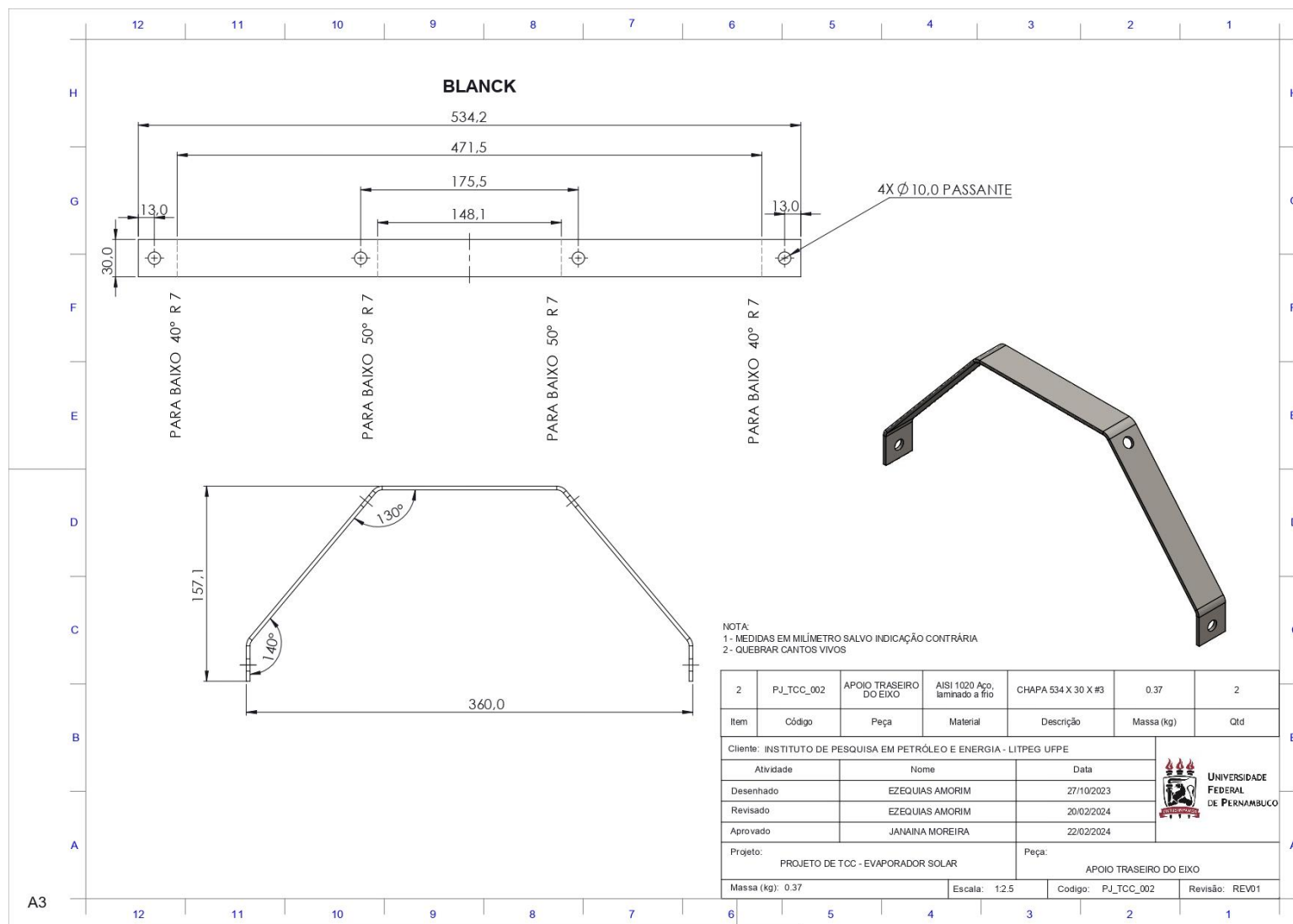
Revisão: REV01

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

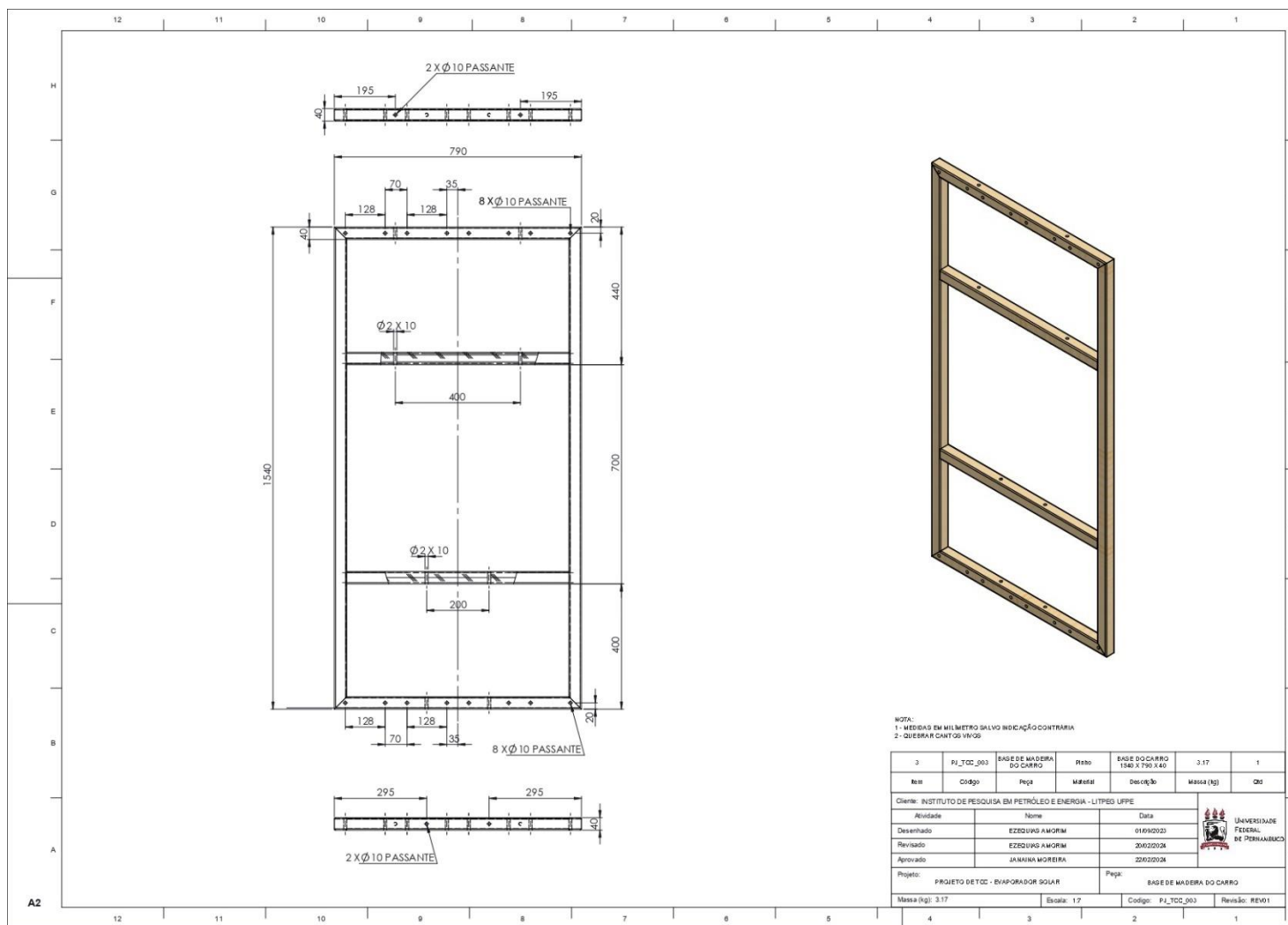
APÊNDICE I – FICHA TÉCNICA DO APOIO DO EIXO DIANTEIRO



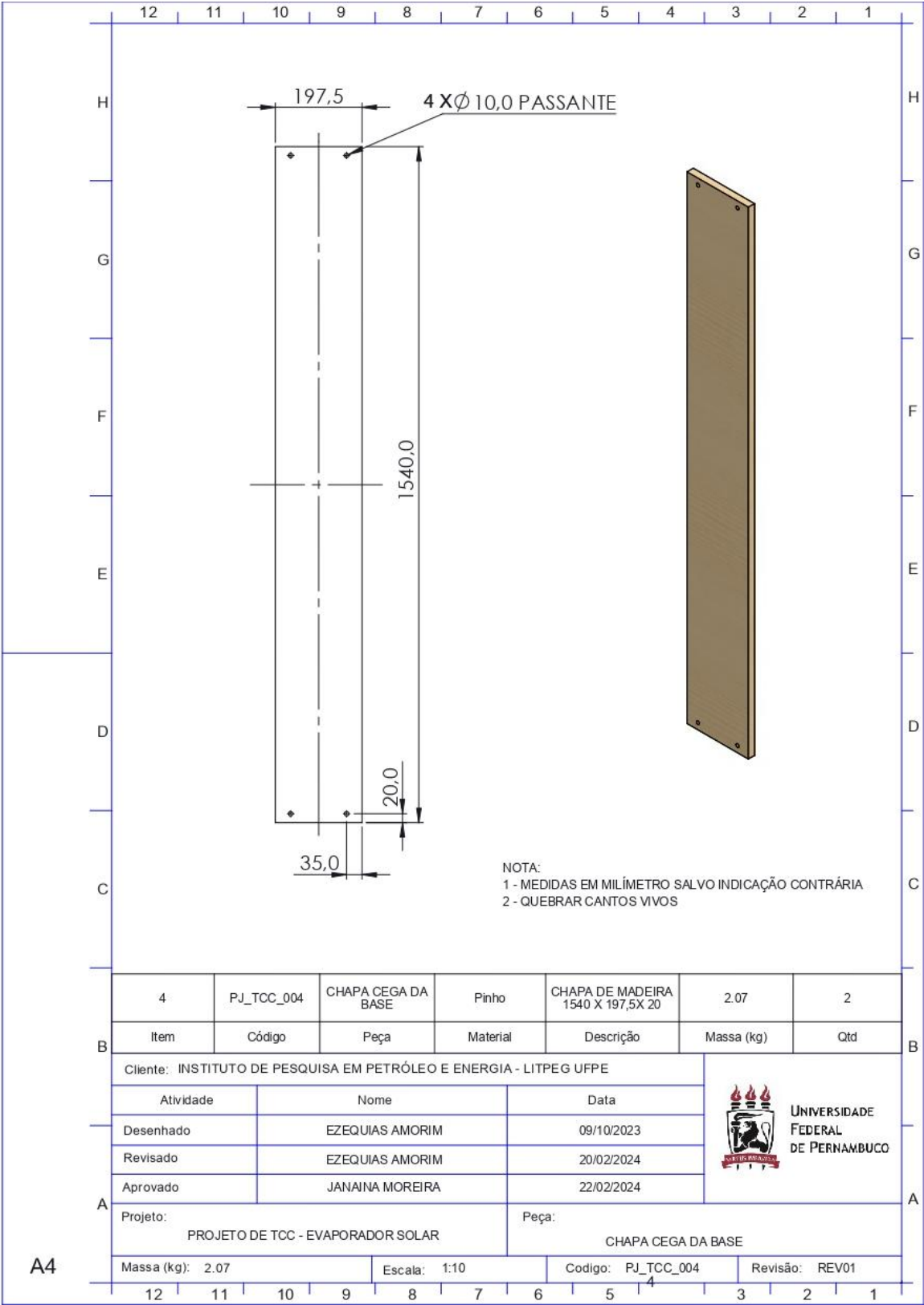
APÊNDICE J – FICHA TÉCNICA DO APOIO DO EIXO TRASEIRO



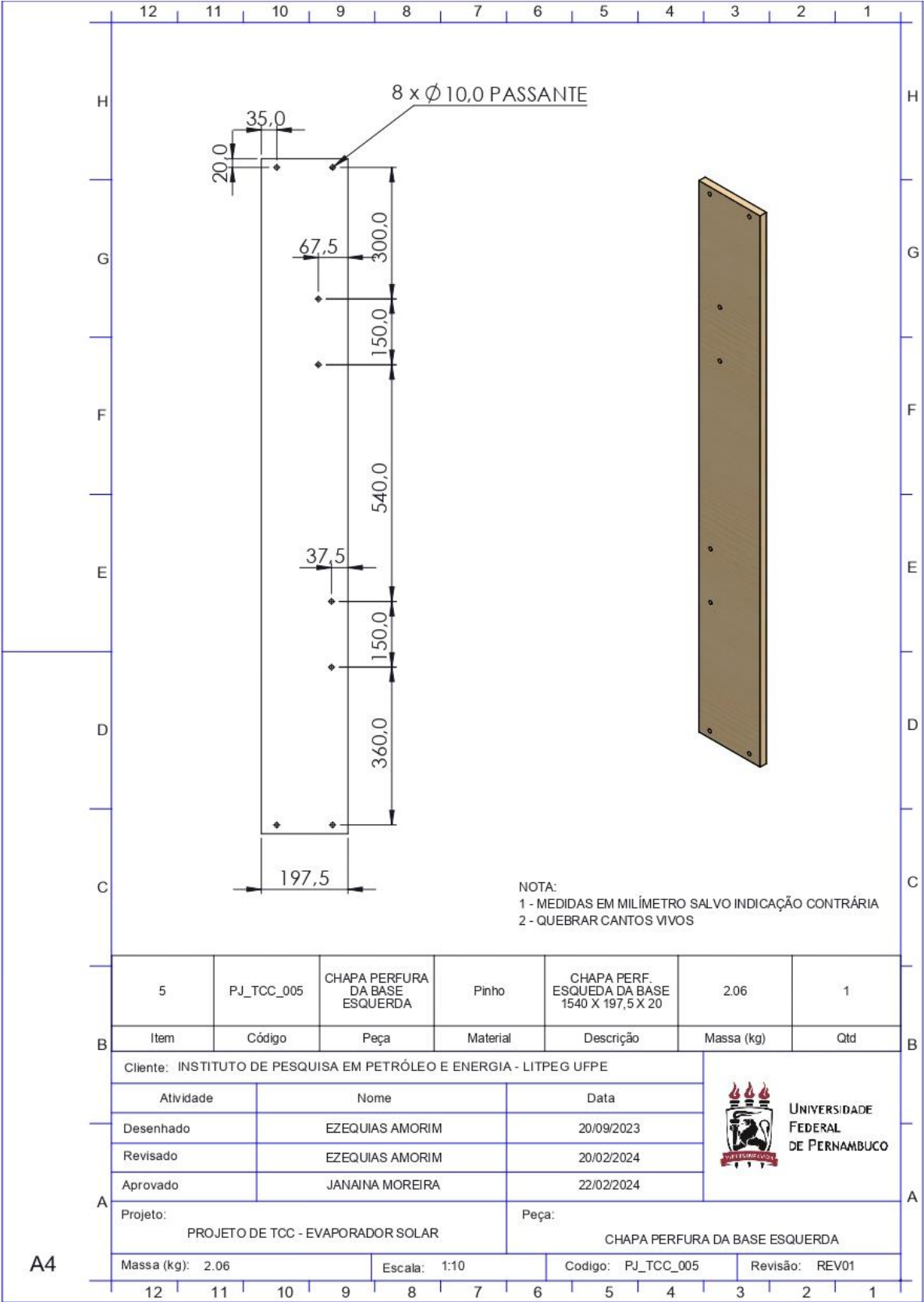
APÊNDICE K – FICHA TÉCNICA DA BASE DE MADEIRA



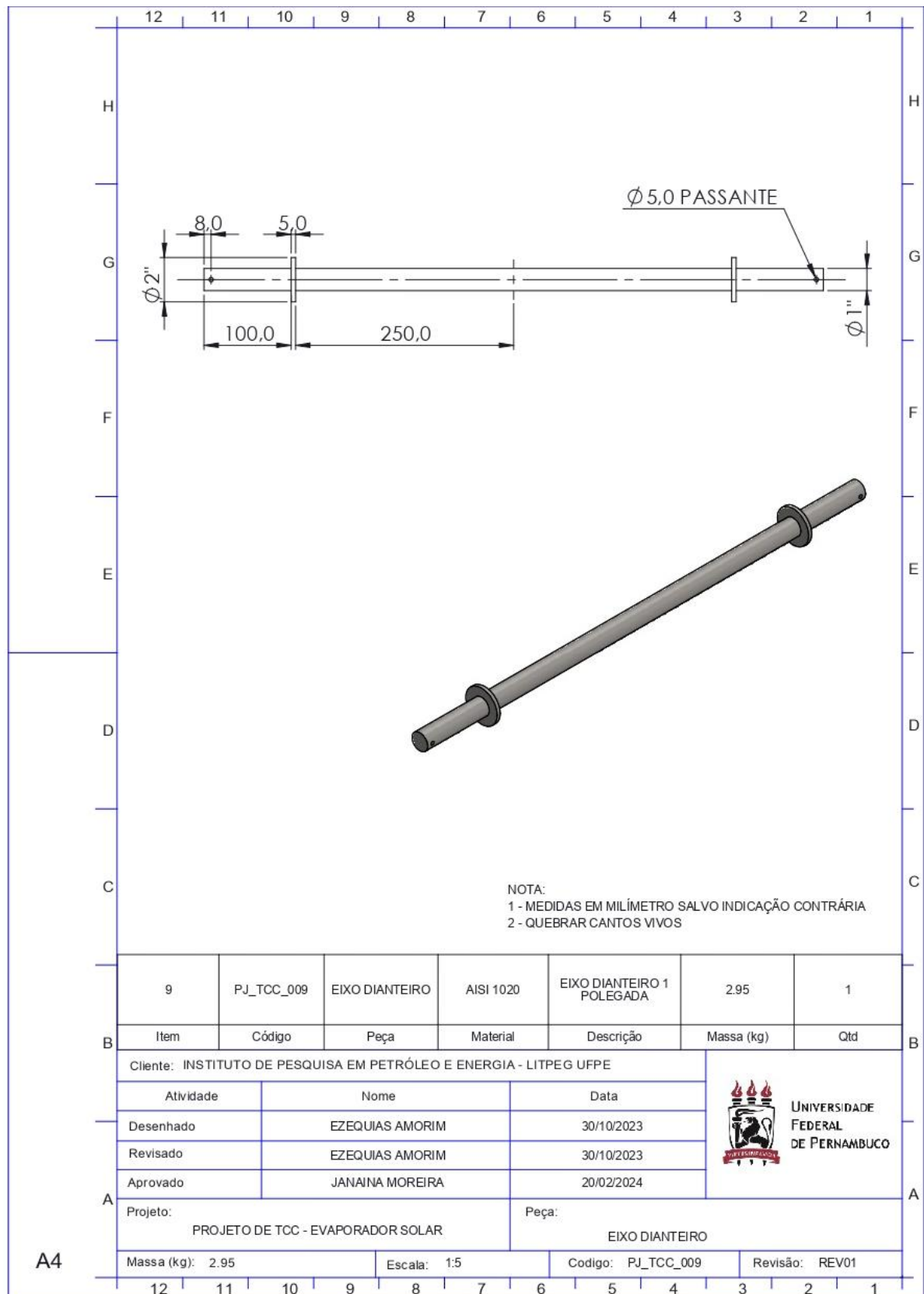
APÊNDICE L – FICHA TÉCNICA CHAPA DA BASE



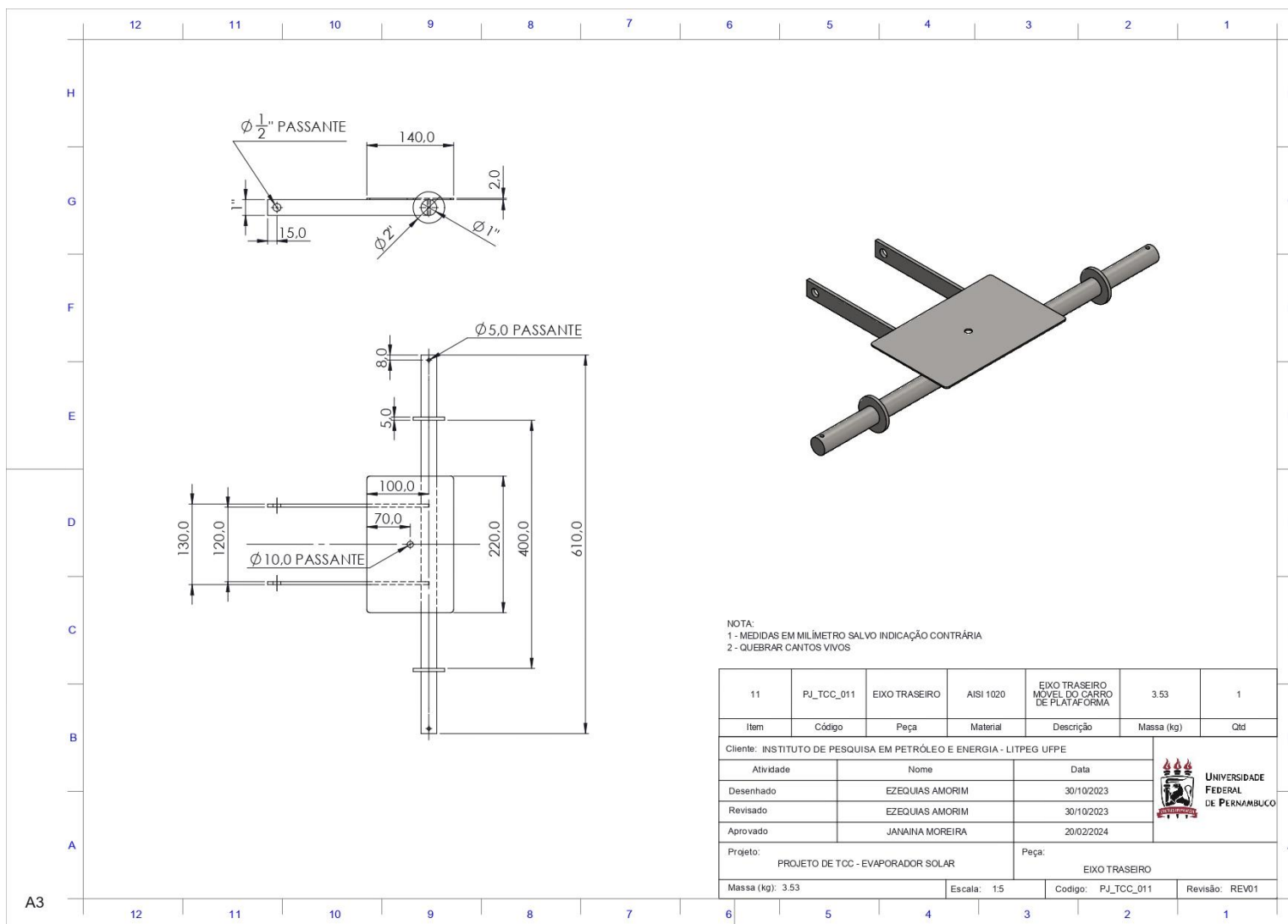
APÊNDICE N – FICHA TÉCNICA CHAPA PERFURADA ESQUERDA



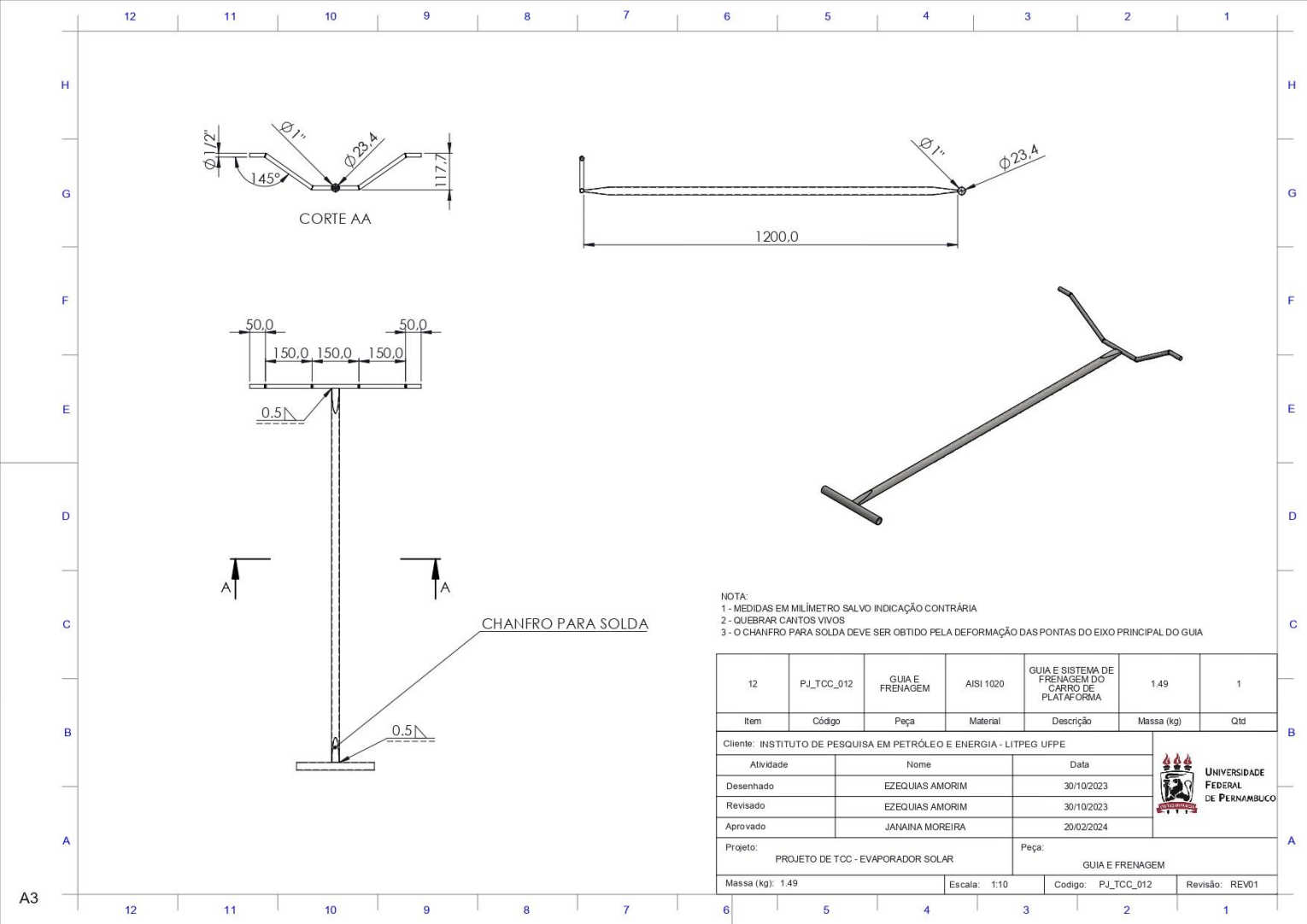
APÊNDICE O – FICHA TÉCNICA DO EIXO DIANTEIRO



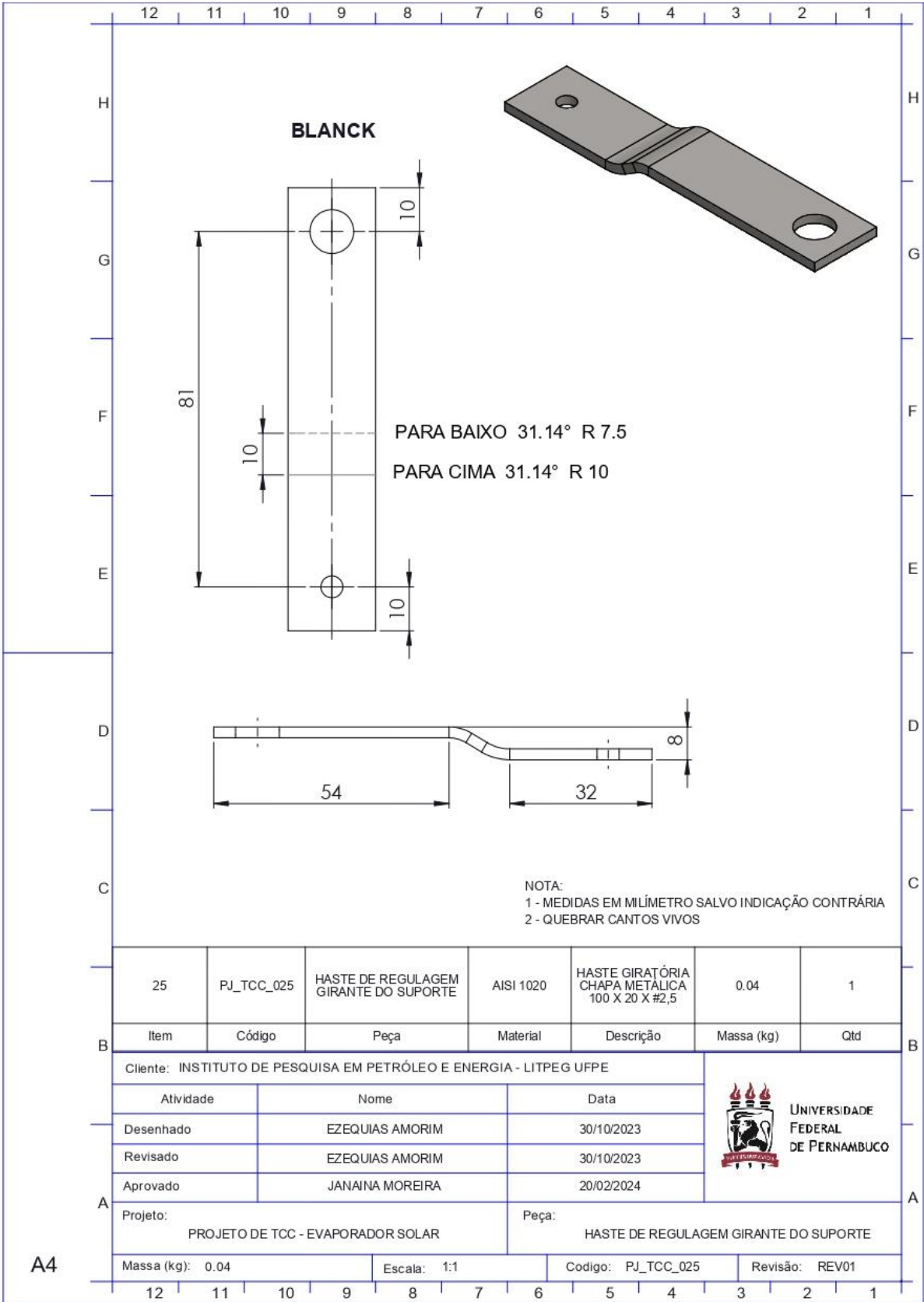
APÊNDICE Q – FICHA TÉCNICA DO EIXO TRASEIRO



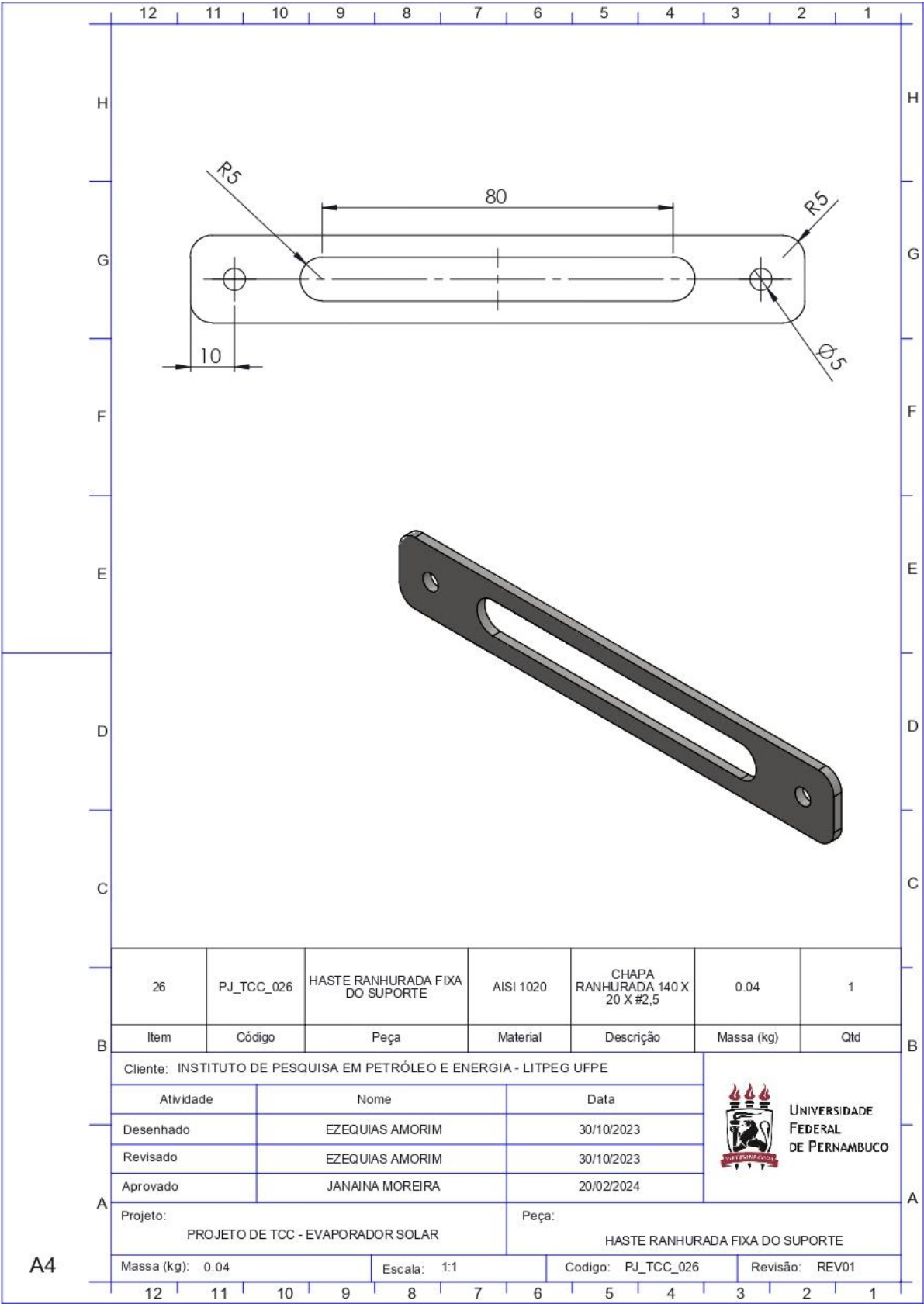
APÊNDICE R – FICHA TÉCNICA DO GUIA E FRENAGEM



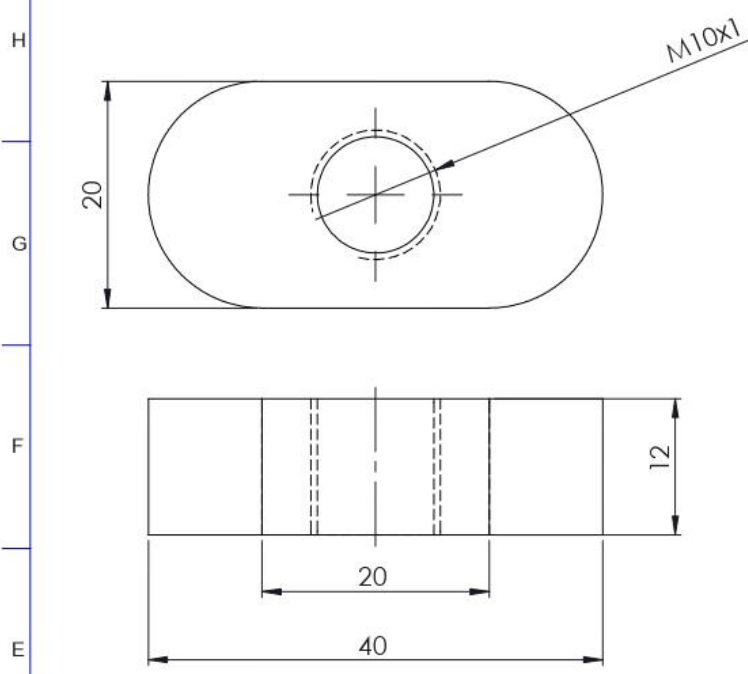
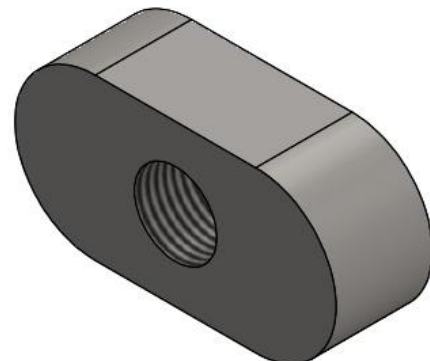
APÊNDICE T – FICHA TÉCNICA HASTE GIRATÓRIA DO CONCENTRADOR



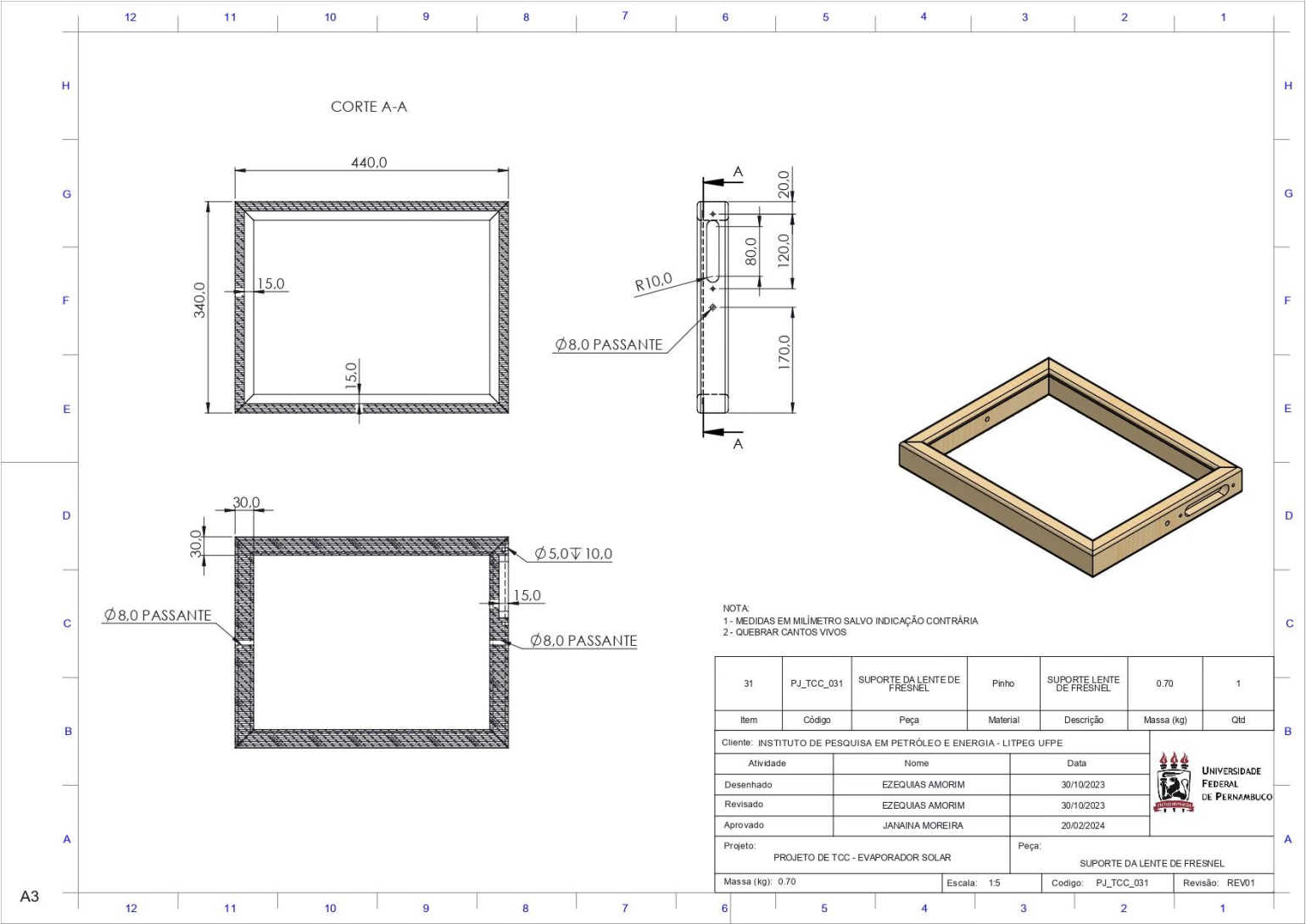
APÊNDICE U – FICHA TÉCNICA DA HASTE FIXA DO CONCENTRADOR



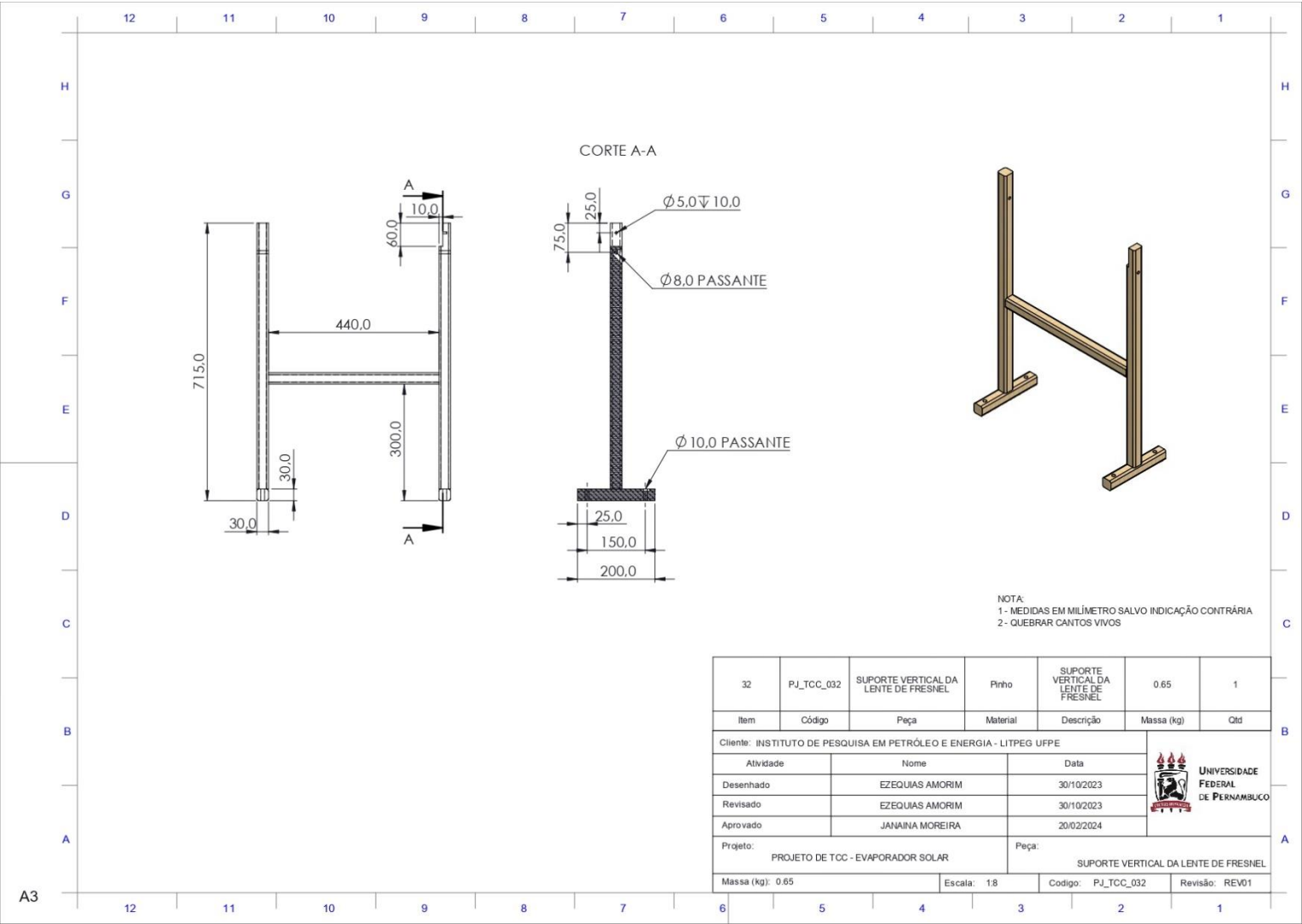
APÊNDICE V – FICHA TÉCNICA PORCA DE AJUSTE

	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1												
H													H											
G																								G
F																								F
E													E											
D													D											
C																							C	
													NOTA: 1 - MEDIDAS EM MILÍMETRO SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA 2 - QUEBRAR CANTOS VIVOS											
B	30	PJ_TCC_030	PORCA AJUSTE	AISI 1020	PORCA DE TRAVAMENTO E AJUSTE	0.06	2							B										
	Item	Código	Peça	Material	Descrição	Massa (kg)	Qtd																	
	Cliente: INSTITUTO DE PESQUISA EM PETRÓLEO E ENERGIA - LITPEG UFPE							 UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO																
	Atividade	Nome			Data																			
	Desenhado	EZEQUIAS AMORIM			30/10/2023																			
	Revisado	EZEQUIAS AMORIM			30/10/2023																			
	Aprovado	JANAINA MOREIRA			20/02/2024																			
A	Projeto: PROJETO DE TCC - EVAPORADOR SOLAR				Peça: PORCA AJUSTE									A										
A4	Massa (kg): 0.06		Escala: 2:1		Codigo: PJ_TCC_030		Revisão: REV01																	
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1												

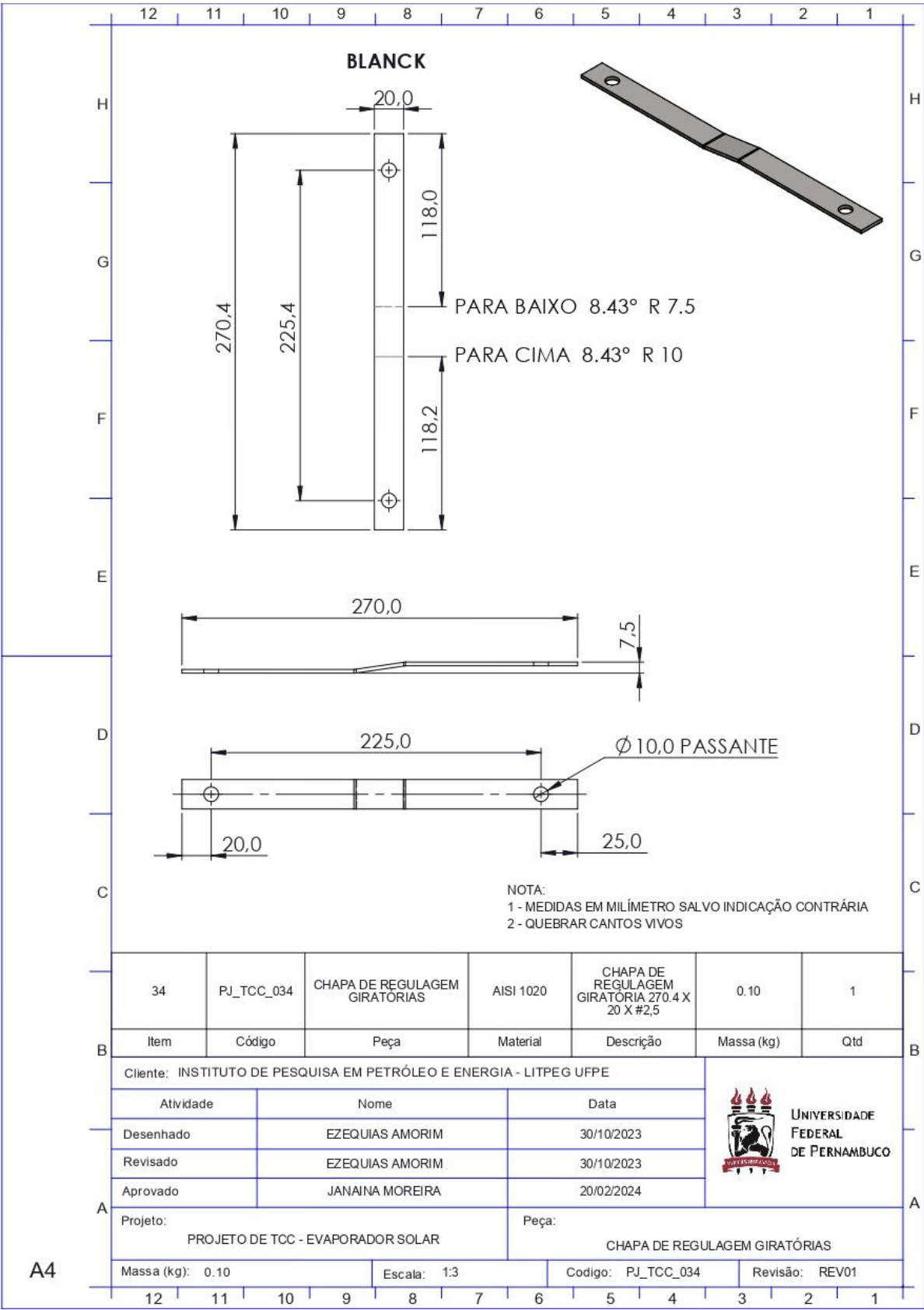
APÊNDICE X – FICHA TÉCNICA DO SUPORTE DA LENTE DE FRESNEL



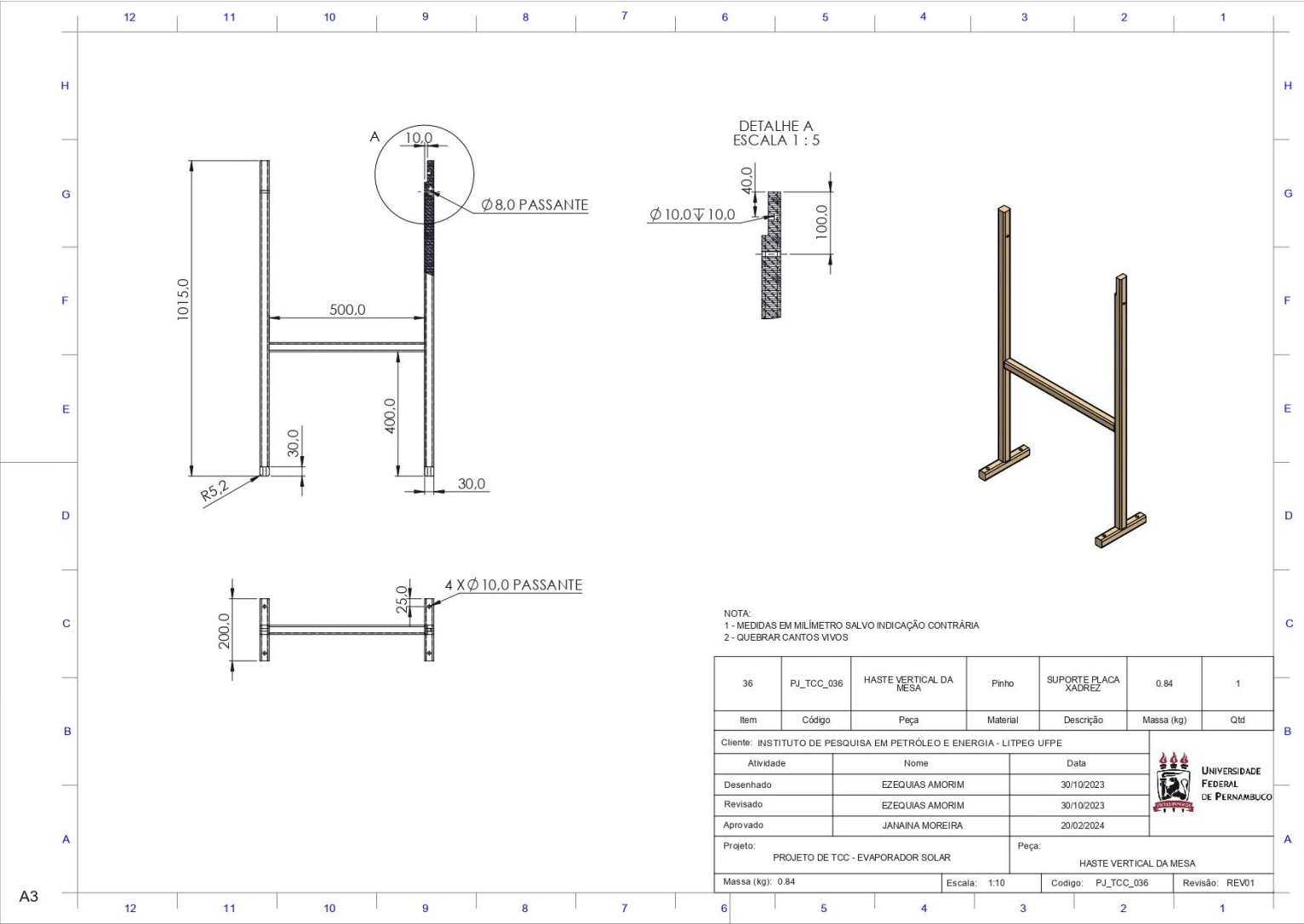
APÊNDICE Y – FICHA TÉCNICA SUPORTE VERTICAL DO CONCENTRADOR



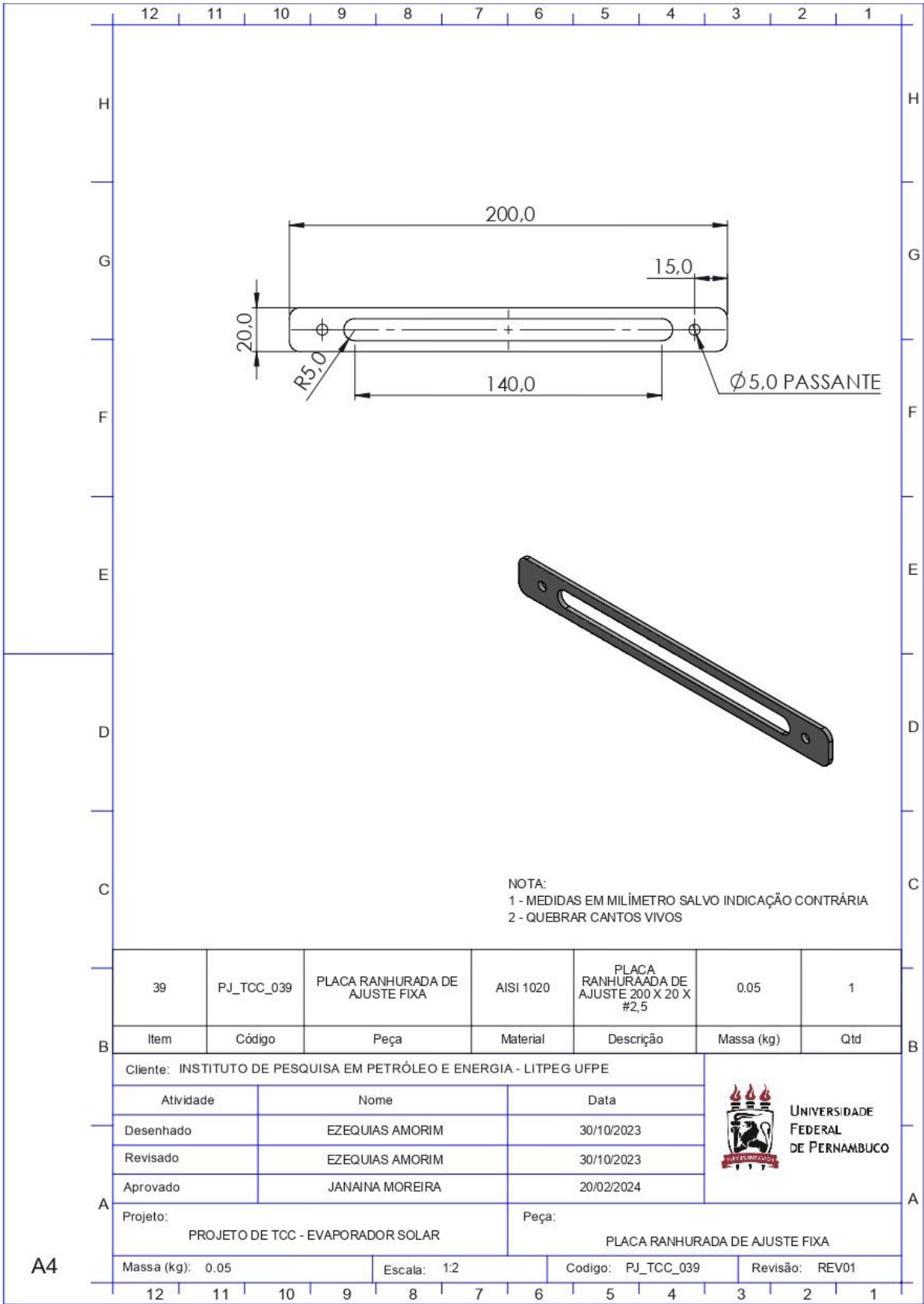
APÊNDICE Z – FICHA TÉCNICA HASTE GIRATÓRIA DA PLACA XADREZ



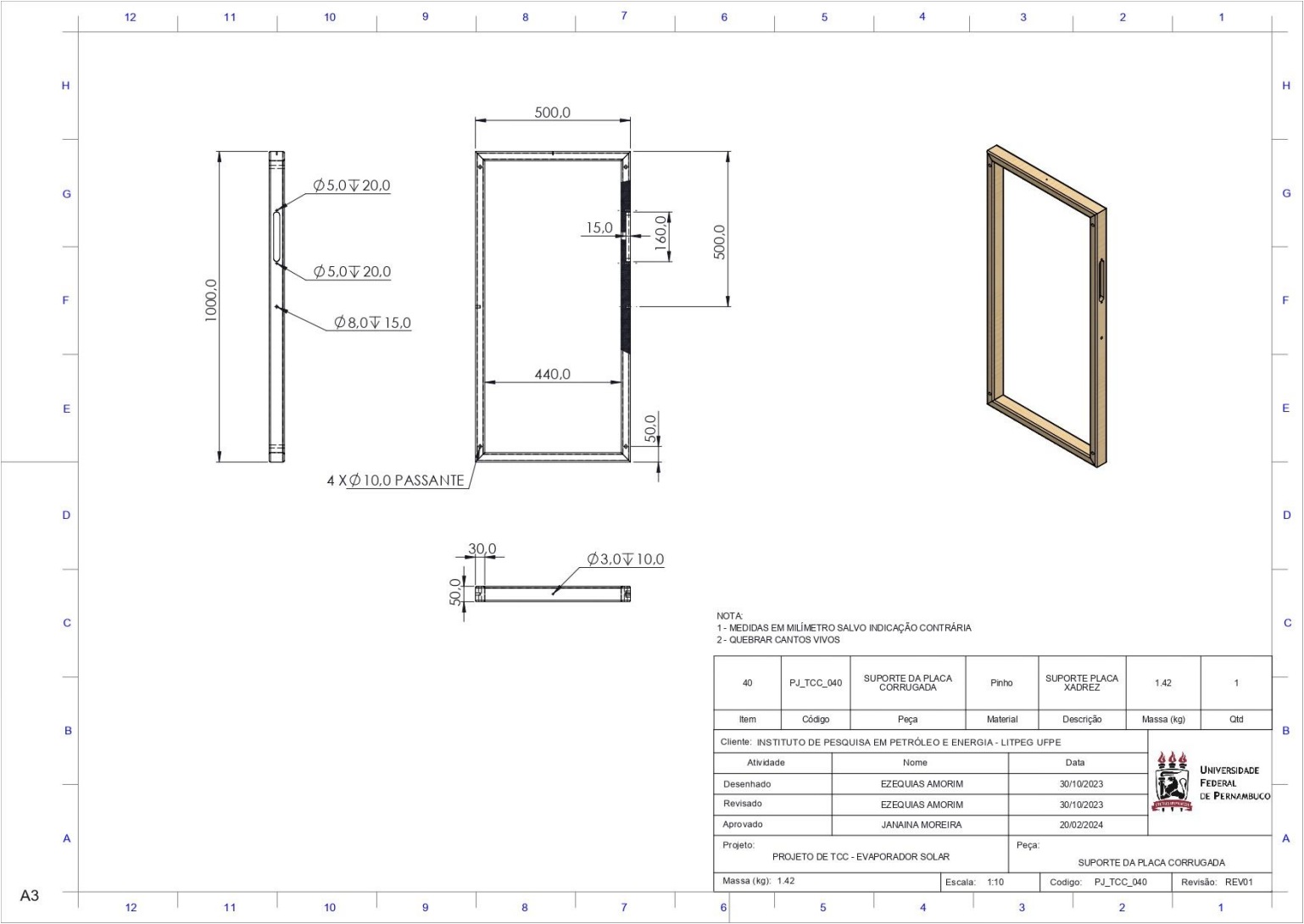
APÊNDICE AA – FICHA TÉCNICA DA HASTE VERTICAL DA MESA XADREZ



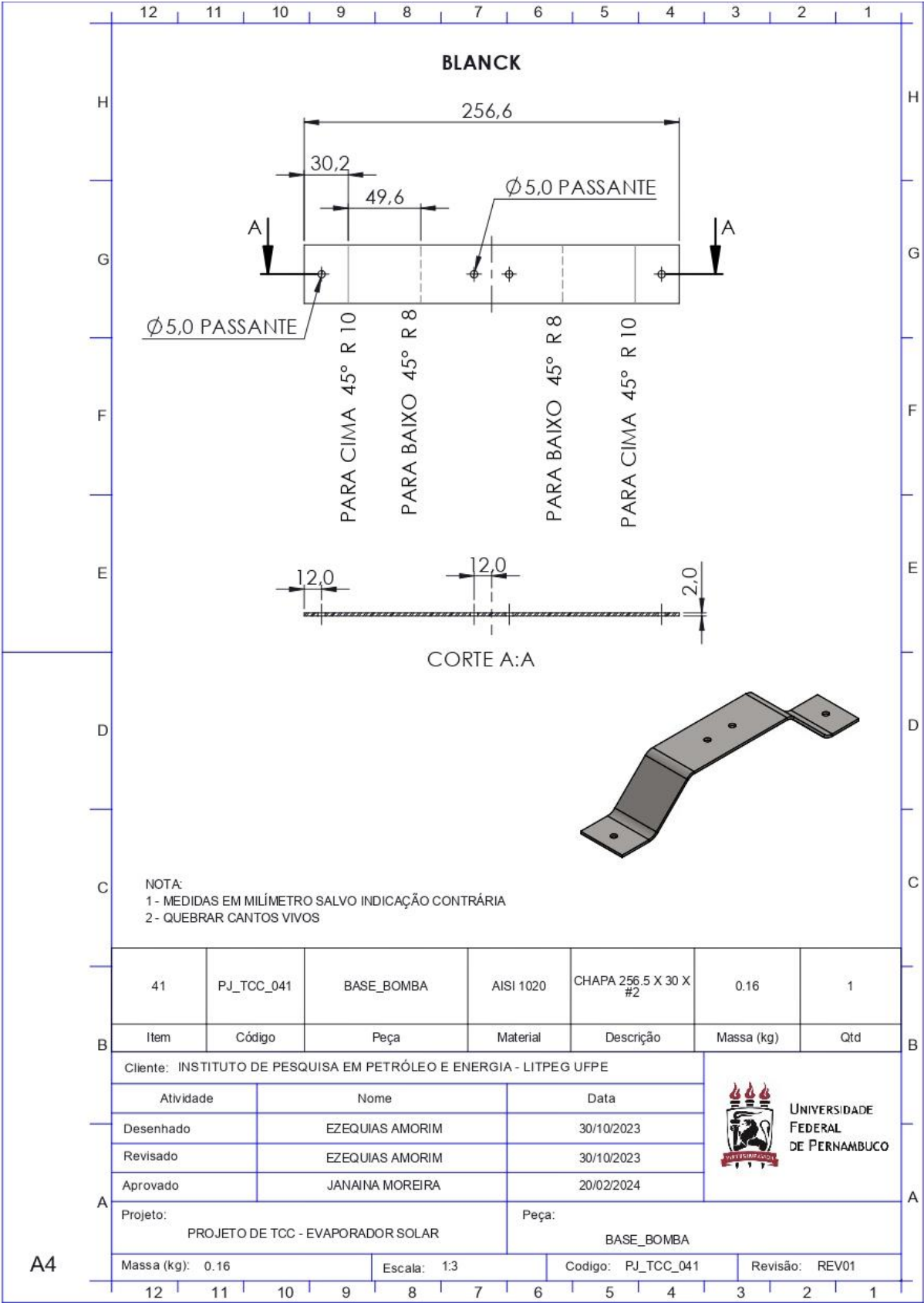
APÊNDICE BB – FICHA TÉCNICA DA HASTE FIXA DA MESA XADREZ



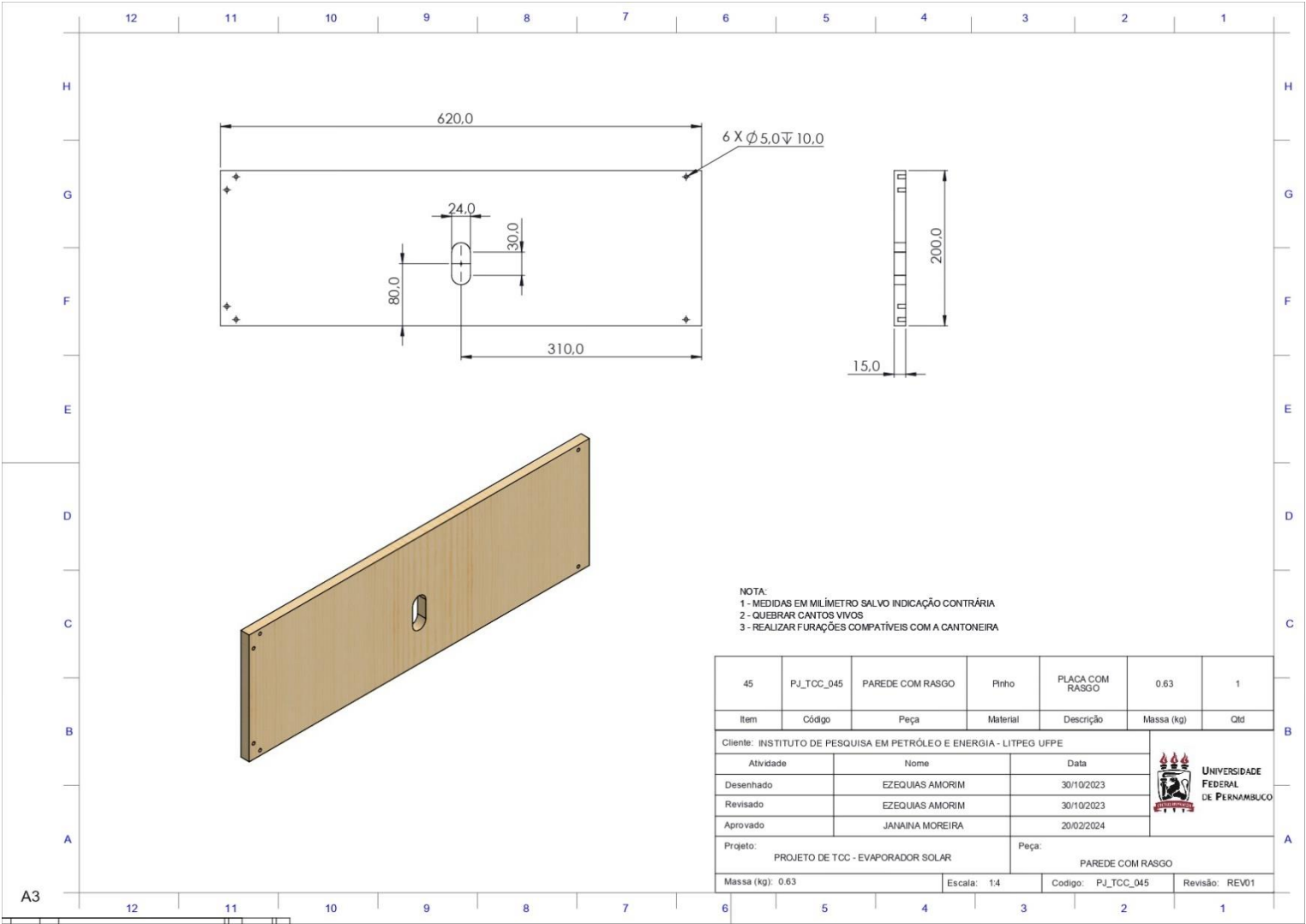
APÊNDICE CC – FICHA TÉCNICA DO SUPORTE DA PLACA XADREZ



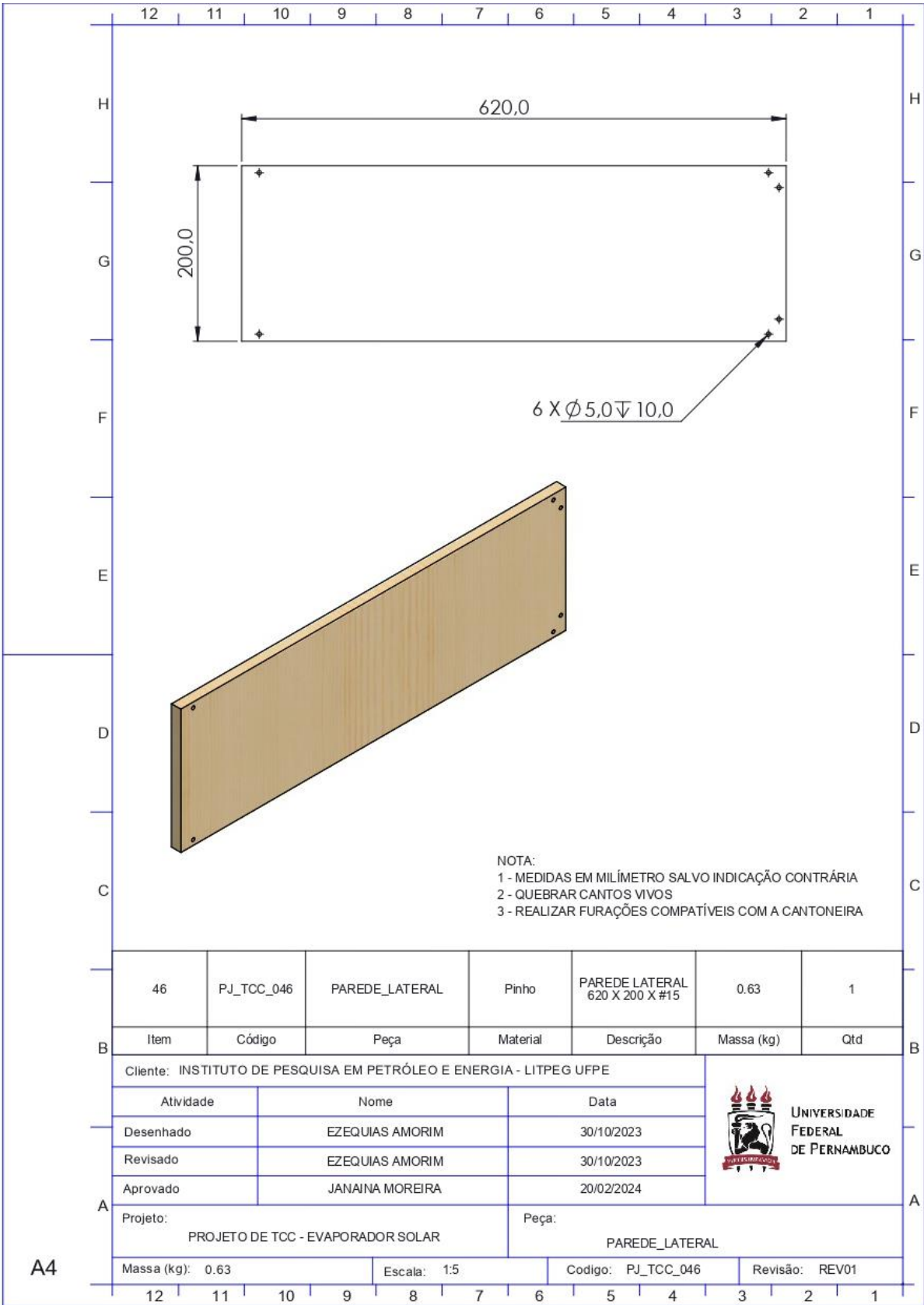
APÊNDICE DD – FICHA TÉCNICA DA BASE DA BOMBA



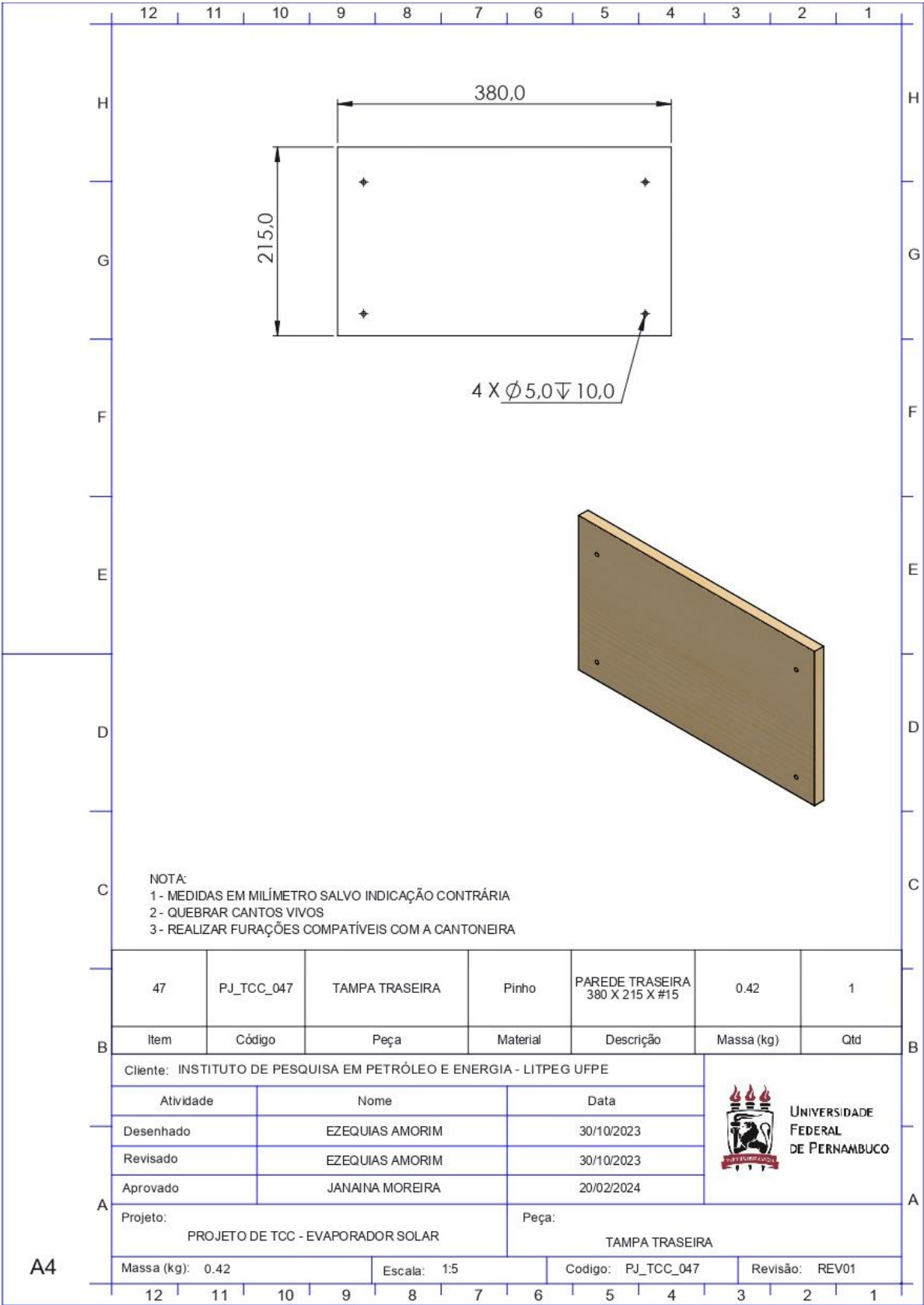
APÊNDICE EE – FICHA TÉCNICA PAREDE COM RASGO CASA DE BOMBA



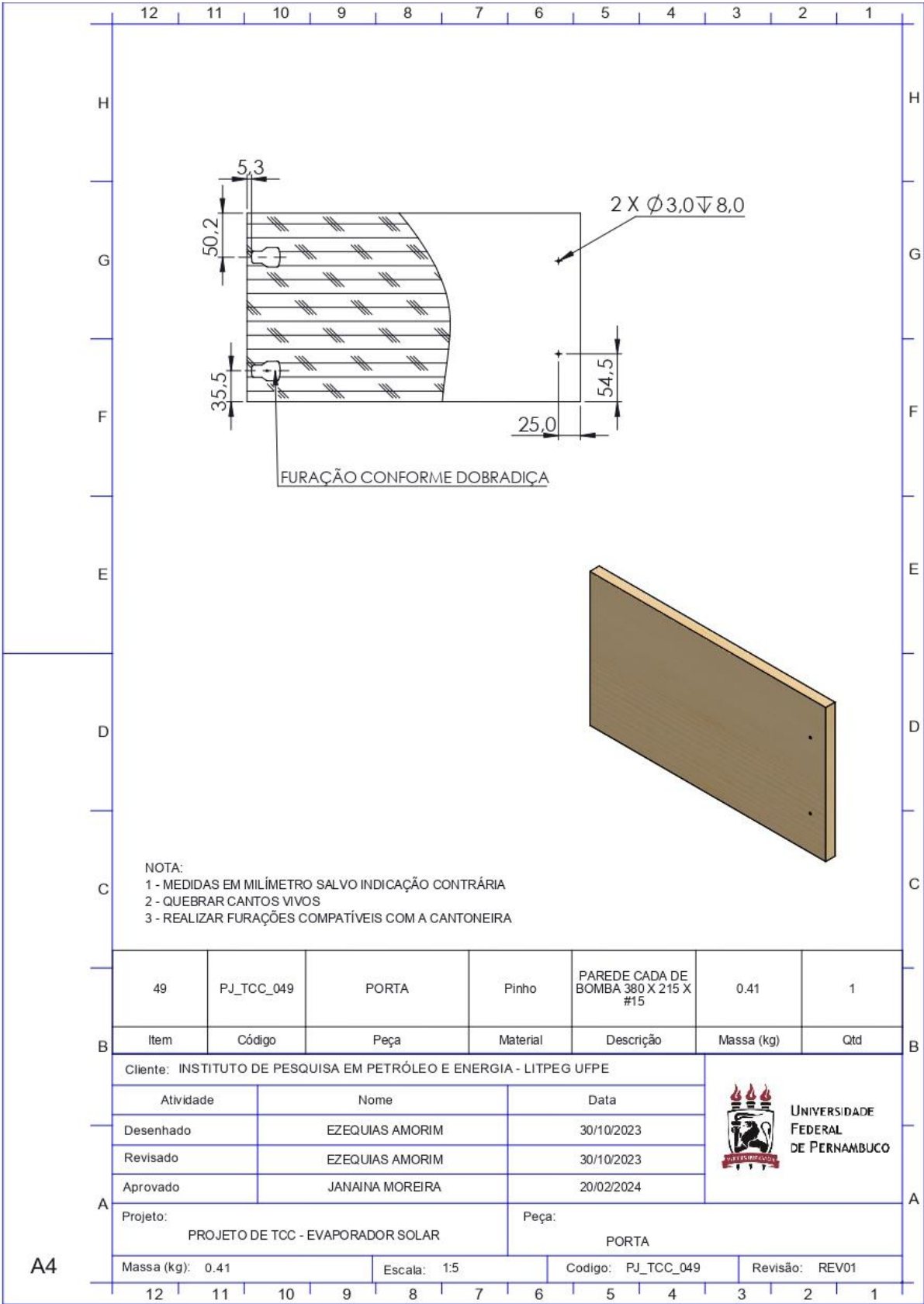
APÊNDICE FF – FICHA TÉCNICA PAREDE LATERAL DA CASA DE BOMBA



APÊNDICE GG – FICHA TÉCNICA PAREDE TRASEIRA CASA DE BOMBA



APÊNDICE HH – FICHA TÉCNICA DA PORTA DA CASA DE BOMBA



APÊNDICE II – FICHA TÉCNICA DO TAMPO DA CASA DE BOMBA

