

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - CAMPUS FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Raul Otávio Ferreira Barreto

**MODELAGEM E PARAMETRIZAÇÃO DE FAMÍLIAS PARA
CRIAÇÃO DE *TEMPLATE* UTILIZÁVEL EM PROJETOS DE
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO *SOFTWARE* REVIT**

Formiga

2023

RAUL OTÁVIO FERREIRA BARRETO

**MODELAGEM E PARAMETRIZAÇÃO DE FAMÍLIAS PARA
CRIAÇÃO DE *TEMPLATE* UTILIZÁVEL EM PROJETOS DE
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO *SOFTWARE* REVIT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Minas Gerais Campus
Formiga, como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos
Co-Orientador: Me. Rodrigo Menezes Sobral
Zacaroni.

Formiga

2023

B273m Barreto, Raul Otávio Ferreira
Modelagem e parametrização de famílias para criação de template utilizável em projetos de geração fotovoltaica no software REVIT / Raul Otávio Ferreira Barreto -- Formiga : IFMG, 2023.
86p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos
Coorientador: Prof. MSc. Rodrigo Menezes Sobral Zacaroni
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. REVIT. 2. Modelagem. 3. Famílias. 4. Projetos fotovoltaicos.
I. Campos, Gustavo Lobato. II. Zacaroni, Rodrigo Menezes Sobral. III. Título.

CDD 621.3

RAUL OTÁVIO FERRERIRA BARRETO

**MODELAGEM E PARAMETRIZAÇÃO DE FAMÍLIAS PARA
CRIAÇÃO DE *TEMPLATE* UTILIZÁVEL EM PROJETOS DE
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO *SOFTWARE* REVIT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Minas Gerais como requisito para obtenção do Título
de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Avaliado em: 19 de junho de 2023.

Nota: 100 pontos

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos



Eng. Rodrigo Menezes Sobral Zacaroni



Profª. Me. Mariana Guimarães dos Santos



Prof. Dr. Patrick Santos de Oliveira



Eng. Gabriel Santiago Raimundo Rodrigues

“O fracasso é apenas uma oportunidade para
recomeçar com mais inteligência!”

Henry Ford

RESUMO

Visando contribuir com a falta de conteúdos e materiais de elétrica dentro da metodologia *Building Information Modeling* - BIM, este trabalho tem como objetivo, a partir do *software* REVIT, da Autodesk, criar as famílias e elementos necessários para elaboração de um projeto de geração fotovoltaica para um cliente tipo B1 da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. Desta forma, realizou-se a simulação de dimensionamento da usina, obtendo norteamento para modelagem das famílias 3D referentes aos dispositivos fotovoltaicos, tais como, módulos solares e inversor de frequência. As características de aparência e especificações elétricas foram retiradas de *datasheets* e catálogos dos fabricantes, buscando um nível alto de fidelidade aos modelos reais. Aliadas às famílias 3D, também foram confeccionadas famílias em 2D, com objetivo de suprir a necessidade de informações e documentação do projeto fotovoltaico em prancha. Posteriormente, todas as famílias foram aglomeradas e organizadas dentro de um modelo de projeto, *template*, ambiente de trabalho que recebeu configuração prévia para realização do projeto de maneira prática e eficiente. Através do teste final de funcionalidade, foi possível concluir que o *template* atendeu ao objetivo do trabalho, sendo possível gerir diagrama unifilar, traçar rotas de eletrodutos, criar vistas de detalhamento e entregar uma amostra do futuro com relação a instalação da usina nos ambientes da residência.

Palavras-chaves: REVIT. Modelagem. Famílias. Projetos Fotovoltaicos.

ABSTRACT

Aiming to contribute with the lack of content and materials of electric inside the Building Information Modeling - BIM methodology, this work has as objective, from the Autodesk REVIT software, create the families and elements necessary for the elaboration of a project of photovoltaic generation for a B1 client of the Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. This way, the simulation of the plant sizing was performed, obtaining guidance for modeling the 3D families referring to the photovoltaic devices, such as solar modules and frequency inverter. The appearance characteristics and electrical specifications were taken from datasheets and manufacturers' catalogs, seeking a high level of fidelity to the real models. Allied to the 3D families, 2D families were also made, seeking to supply the need for information and documentation of the photovoltaic project on a board. Afterwards, all the families were agglomerated and organized into a project model, template, a work environment that received previous configuration to carry out the project in a practical and efficient way. Through the final functionality test, it was possible to conclude that the template met the objective of the work, being possible to manage the wiring diagram, trace the conduit routes, create detail views and give a glimpse of the future regarding the installation of the plant in the residence's environments.

Keywords: REVIT. Modeling. Families. Photovoltaic Projects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira em junho/2022.....	18
Figura 2 - Propriedades dos parâmetros.....	22
Figura 3 - Cubo modelado no REVIT.....	24
Figura 4 - Objetos geométricos em plano.....	25
Figura 5 - Cubo perfurado em perspectiva.....	25
Figura 6 - Irradiação solar no plano horizontal para a cidade de Carmo da Mata - MG.....	27
Figura 7 - Características elétricas módulo solar GCL-P6/72.....	28
Figura 8 - Características elétricas de entrada do inversor de frequência ecoSolys 2K Plus.....	28
Figura 9 - Dados gerais do módulo GCL-P6/72.....	29
Figura 10 - Desenho técnico GCL-P6/72.....	30
Figura 11 - Módulo GCL-P6/72 real versus Módulo solar FV. RFA (REVIT).....	30
Figura 12 - Estruturas fotovoltaicas.....	32
Figura 13 - Arranjo fotovoltaico em estrutura monoposte. RFA (REVIT).....	32
Figura 14 - Detalhes do Arranjo fotovoltaico em estrutura monoposte (REVIT).....	33
Figura 15 - Arranjo fotovoltaico em estrutura para telhado cerâmico. RFA (REVIT).....	33
Figura 16 - Detalhes do arranjo fotovoltaico para telhado cerâmico. RFA.....	34
Figura 17 - Parâmetros compartilhados dos arranjos FV e seu respectivo grupo.....	34
Figura 18 - Dados gerais inversor de frequência ecoSolys 2K Plus.....	35
Figura 19 - Inversor ecoSolys 2K Plus versus inversor. RFA (REVIT).....	36
Figura 20 - Posterior inversor ecoSolys 2K Plus versus inversor. RFA (REVIT).....	36
Figura 21 - Detalhes inversor de frequência. RFA (REVIT).....	37
Figura 22 - Parâmetros compartilhados do inversor de frequência FV.....	37
Figura 23 - Modelo de disjuntor STECK.....	38
Figura 24 - Modelos de DPS CLAMPER.....	39
Figura 25 - Modelo de chave seccionadora BENY.....	39
Figura 26 - Dimensões DPS CLAMPER.....	40
Figura 27 - Dimensões chave seccionadora, disjuntores e DPS.....	40
Figura 28 - Dimensões trilho DIN 35 mm.....	41
Figura 29 - Modelos de <i>string box</i>	41
Figura 30 - Dimensões de exemplo <i>string box</i>	42
Figura 31 - Chave seccionadora, disjuntor bipolar, DPS's e trilho DIN. RFA.....	42
Figura 32 - Exemplo da montagem pelo aninhamento das famílias.....	43
Figura 33 - <i>String box</i> e quadro de proteção CA. RFA.....	43
Figura 34 - Exemplo de configuração de legenda.....	44
Figura 35 - Famílias de anotação dados da geração e arranjo FV. RFA.....	45
Figura 36 - Famílias de anotação <i>string box</i> e inversor de frequência. RFA.....	45
Figura 37 - Famílias de anotação quadro de proteção CA e QDC. RFA.....	46
Figura 38 - Famílias de anotação medidor bidirecional e rede CEMIG. RFA.....	46
Figura 39 - Visão geral do modelo de folha. RFA.....	47
Figura 40 - Parâmetros compartilhados e detalhe do carimbo.....	47
Figura 41 - Exemplo de configuração do plano de trabalho.....	48
Figura 42 - Exemplo de configuração baseada no plano de referência.....	49
Figura 43 - Projeto arquitetônico modelo.....	49
Figura 44 - Hospedagem dos arranjos no terreno e telhado.....	50
Figura 45 - Hospedagem do inversor, <i>string box</i> e quadro CA em parede.....	50
Figura 46 - Sequência de desenvolvimento.....	51

Figura 47 - Tela inicial do <i>template</i>	51
Figura 48 - Famílias selecionadas para o sistema de conduites.....	52
Figura 49 - Curvas e conexões dos conduites.....	53
Figura 50 - Menu de filtros.....	54
Figura 51 - Criação de filtros.....	54
Figura 52 - Adição do filtro no menu.....	55
Figura 53 - Configuração de cor do filtro.....	55
Figura 54 - Configuração do conduíte.....	56
Figura 55 - Fichas técnicas para eletroduto corrugado e rígido de PVC.....	57
Figura 56 - Configurações criadas para os conduites.....	57
Figura 57 - Configuração final para o eletroduto PVC rígido com rosca.....	58
Figura 58 - Eletrodutos funcionando em ambiente de projeto.....	59
Figura 59 - Famílias disponíveis no <i>template</i>	60
Figura 60 - Diagrama montado.....	60
Figura 61 - Edição do identificador de dispositivo elétrico.....	61
Figura 62 - Edição do identificador de dispositivo elétrico.....	62
Figura 63 - Gerenciador dos modelos de vista.....	63
Figura 64 - Menu de parâmetros de projeto.....	64
Figura 65 - Adicionando parâmetro de projeto a uma categoria.....	64
Figura 66 - Nota técnica CEMIG.....	65
Figura 67 - Status de desenvolvimento.....	66
Figura 68 - Status de desenvolvimento.....	67
Figura 69 - Propriedades do arranjo FV em ambiente de trabalho.....	68
Figura 70 - Propriedades do inversor de frequência em ambiente de trabalho.....	69
Figura 71 - Rotas de conduites.....	69
Figura 72 - Detalhe das legendas no diagrama unifilar.....	70
Figura 73 - Procedimento de criação das folhas para montagem das pranchas.....	71
Figura 74 - Detalhe 3D parede.....	72
Figura 75 - Detalhe 3D telhado.....	72
Figura 76 - Detalhe 3D geral (imagem renderizada)	73
Figura 77 - Status de desenvolvimento concluído.....	73
Figura 78 - Tela inicial do REVIT.....	80
Figura 79 - Modelos REVIT.....	81
Figura 80 - Painel de propriedades.....	81
Figura 81 - Configuração de famílias.....	82
Figura 82 - Categorização da família.....	83
Figura 83 - Parâmetros Compartilhados.....	84
Figura 84 - Criação de conector de conduíte.....	85
Figura 85 - Configuração do raio de um conector.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revisão bibliométrica do tema.....	15
Tabela 2 - Trabalhos acadêmicos observados durante a revisão bibliométrica.....	16
Tabela 3 - Histórico de consumo nos últimos 12 meses.....	26

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
BIM: *Building Information Modeling* – Modelagem da Informação da Construção.
CA: Corrente alternada.
CC: Corrente contínua.
CAD: *Computer-Aided Design* – Desenho Assistido por Computador.
DPS: Dispositivo de Proteção Contra Surtos.
FV: Fotovoltaica(s); Fotovoltaico(s).
HSP: Horas de Sol Pleno.
MPPT: *Maximum Power Point Tracking* – Rastreamento de Ponto de Máxima Potência.
NBR: Norma Brasileira.
NR: Norma Regulamentadora.
PVC: *Polyvinil Chloride* – Policloreto de Vinil.
QDC: Quadro de Distribuição de Circuitos.
RFA: Arquivo de Família do REVIT.
RTE: Arquivo de *Template* do REVIT.
RVT: Arquivo de Projeto do REVIT.
2D: Duas Dimensões.
3D: Três Dimensões.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problema.....	14
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Objetivo Geral.....	18
1.3.1	Objetivos Específicos.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Dimensionamento FV.....	19
2.2	Famílias e Parâmetros do REVIT.....	21
2.3	Modelagem 3D no REVIT.....	23
3	DESENVOLVIMENTO.....	26
3.1	Dimensionamento, modelagem e parametrização das famílias FV.....	26
3.1.1	Módulo solar fotovoltaico.....	29
3.1.2	Arranjos fotovoltaicos.....	31
3.1.3	Inversor de frequência.....	35
3.1.4	Dispositivos de proteção.....	37
3.1.5	Famílias de anotação.....	44
3.2	Configuração de hospedagem em projeto.....	48
3.3	Configuração do template.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1	Montagem da usina.....	67
4.2	Diagrama unifilar.....	70
4.3	Montagem das pranchas.....	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	ANEXO A.....	80

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, as usinas de geração solar fotovoltaica (FV) têm se mostrado uma excelente opção para consumidores que desejam evitar o aumento de taxas nas contas de energia elétrica. Trata-se de um sistema com dois dispositivos principais: os módulos fotovoltaicos, responsáveis pela transformação da luz do sol em corrente contínua, e os inversores de frequência, que convertem corrente contínua em corrente alternada, tornando-a utilizável para o acionamento de cargas, como por exemplo, dos eletrodomésticos.

Basicamente, ao instalar esse sistema, o cliente passa a produzir sua própria energia. Os “*kilowatts*” de potência gerados são utilizados para abater o consumo de energia elétrica através dos chamados créditos de energia. Por exemplo, se uma usina FV gerar 500 kW e o cliente utilizar somente 250 kW, ele possuirá créditos referentes a 250 kW excedentes. O usuário pode, ainda, utilizar esses créditos em outras unidades consumidoras conectadas à rede da concessionária local, opção que agrega flexibilidade ao processo de compensação. O sistema descrito acima é chamado *on-grid*, ou seja, necessita estar conectado à uma rede de distribuição para ocorrer o ganho de créditos ocasionados pela geração excedente. Existe ainda, o sistema *off-grid*, que é independente da concessionária e utiliza baterias para armazenar energia e disponibilizá-la em momentos que a geração solar não supre a demanda energética do consumidor.

Além de ser um investimento econômico com objetivo de reduzir despesas mensais fixas, as usinas FV utilizam fonte de energia renovável, isto é, seu combustível é de “fácil reposição”, sendo o Brasil privilegiado por receber altos níveis de radiação solar. Algumas vantagens dos sistemas FV quanto ao meio ambiente são (Revista Interface Tecnológica, 2022, p. 287-298):

- Geração silenciosa;
- Não emite poluentes;
- Redução de perdas, uma vez que a maior parte da geração é consumida instantaneamente pela residência e somente o excedente é devolvido à rede, evitando as dissipações de energia ocasionadas pelas grandes distâncias de linhas de transmissão e distribuição;
- Não causa ocupação e devastação de novas áreas, uma vez que os sistemas FV podem ser instalados nos telhados das construções.

Assim como todos os dispositivos elétricos, os sistemas FV devem ser corretamente

instalados, na busca por preservar a edificação hospedeira e os usuários. Toda instalação elétrica é regulamentada por normas técnicas, no caso das usinas solares as principais são (Normas Regulamentadoras – NR, 2022) (ABNT Catálogo, 2022):

- ABNT NBR 5410: 2004 (versão corrigida 2008) – Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT NBR 16690: 2019 (em revisão) – Instalações elétricas de arranjos FV – Requisitos de projeto;
- ABNT NBR 16274: 2014 – Sistemas FV conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaio de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- ABNT NBR 5419:2015 (em revisão) – Proteção contra descargas atmosféricas;
- NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- NR 35 – Trabalho em altura.

Para atender corretamente às normas, é necessário um projeto elétrico bem elaborado, e cabe ao projetista confeccionar as vistas, desenhos, diagramas e demais orientações para a etapa de execução do projeto. Neste ponto é importante pontuar que com a evolução da tecnologia, os projetos de engenharia passaram a ser elaborados via *software*, principalmente baseados na tecnologia *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador, CAD), tornando a produção mais ágil e eficiente, por contar com representações 3D, ou seja, os desenhos foram automatizados (NUNES; LEÃO, 2018).

Entretanto, essa metodologia ainda é suscetível a falhas e inconsistências, pois leva em conta somente as medidas geométricas dos elementos de projeto. Basicamente, os blocos de desenho CAD não carregam as informações técnicas como tipo de material, cor, potência, tensão e corrente, sendo basicamente traços geométricos. Tais lacunas abrem espaço para emprego da *Building Information Modeling* (Modelagem da Informação da Construção, BIM), essa metodologia consiste basicamente em desenvolver um protótipo virtual que já possui todos os seus parâmetros associados (NUNES; LEÃO, 2018).

O modelo BIM proporciona interoperabilidade e compartilhamento de informação em todas as etapas da obra, ou seja, proprietários, arquitetos, engenheiros e construtores trabalham juntos em um só projeto, reduzindo o nível de erros e modificações com a obra em andamento, fatores que implicam diretamente nos prazos de entrega e custos do projeto (NUNES; LEÃO, 2018).

Apesar de ser fundamentada na área de construção civil, a metodologia BIM vem

ganhando espaço nos projetos de instalações elétricas, os profissionais da área estão sendo demandados a desenvolverem projetos elétricos em *softwares* BIM devido ao ganho em qualidade e fluxo de trabalho. O REVIT, da Autodesk é um dos *softwares* BIM mais utilizados no mundo, nele os arquivos de dados são chamados de famílias, e são elas que carregam toda a parametrização de um elemento, por exemplo, uma família de tomada pode conter informações de dimensão, tensão, número de polos e potência (CAMPESTRINI, 2015).

Neste sentido, pretende-se com este trabalho de conclusão de curso desenvolver famílias dos dispositivos necessários para a instalação de um sistema solar FV, entre eles, módulo solar, inversor de frequência, *string box* e quadro de proteção CA (corrente alternada). Pretende-se ainda, sintetizar essas famílias em um *template* (arquivo de modelo) fotovoltaico para utilização prática em projetos de usinas solares no REVIT.

1.1 Problema

Utilizar o modelo BIM para sistemas FV significa pensar no futuro, pois devido a interoperabilidade da metodologia é possível ter em um mesmo projeto, através do REVIT, projeto estrutural, hidrossanitário, elétrico e o projeto do sistema solar FV a ser instalado na residência. Neste sentido, seria possível prever a disposição dos módulos FV nos telhados ou lugares adequados, bem como a fixação do inversor de frequência e demais dispositivos de proteção em alguma parede da edificação. Esta modernização sobre sistemas FV, com famílias e *template* do REVIT é de grande valia devido à falta de material BIM, que ficará evidenciada em revisão bibliométrica apresentada no tópico 1.2 desse estudo.

Portanto, este trabalho de conclusão de curso propõe-se a contribuir, gerando conteúdos relacionados ao BIM para os projetos de geração FV, fornecendo famílias dos dispositivos presentes nestas instalações (módulo solar, inversor de frequência, proteção e manobra) e um *template* para ser utilizado de maneira rápida e prática. Isso representa uma alternativa ao desenvolvimento de projetos FV que atualmente é feito majoritariamente em *softwares* CAD.

1.2 Justificativa

Conforme mencionado na seção anterior não foram identificados trabalhos e materiais acadêmicos que tratem de maneira objetiva sobre a criação de famílias e *template* para projetos de sistemas FV em *softwares* BIM, especificamente no *software* REVIT. A modelagem de projetos em BIM, principalmente no REVIT, está muito associada, até o presente momento, à área de arquitetura e construção civil. A Tabela 1 apresenta uma revisão bibliométrica que ressalta poucos retornos para a área de desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 1 - Revisão bibliométrica do tema.

Revisão bibliométrica	
Palavras-chave	Quantitativo
"REVIT" "BIM"	35000
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas"	684
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "projetos elétricos" "modelagem"	91
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "projetos elétricos" "modelagem" "sistemas fotovoltaicos"	1
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "projetos elétricos" "modelagem" "sistemas fotovoltaicos" "geração solar" "geração fotovoltaica"	1
"REVIT" "BIM" "elétrica" "modelagem" "famílias" "rfa" "rte"	6
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "famílias" "rfa" "rte"	4
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "modelagem" "família" "módulo solar" "rfa" "rte"	0
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "modelagem" "família" "modulo fotovoltaico" "rfa" "rte"	0
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "modelagem" "família" "painel solar" "rfa" "rte"	0
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "modelagem" "família" "inversor" "rfa" "rte"	0
"REVIT" "BIM" "instalações elétricas" "modelagem" "família" "inversor de frequência" "rfa" "rte"	0

Fonte: Tabela de autoria própria (2023); (Pesquisa realizada no dia 31/05/2023)

A Tabela 2 lista alguns trabalhos correspondentes às palavras-chave com menor quantitativo de resultados. É possível notar que estes não tratam do objetivo proposto por este trabalho de conclusão de curso, ou seja, modelagem e parametrização de famílias para o setor FV e elétrico em geral.

Tabela 2 - Trabalhos acadêmicos observados durante a revisão bibliométrica.

Título do trabalho	Descrição
O USO DO BIM EM PROJETOS ELÉTRICOS E SOLARES FOTOVOLTAICOS, NA CONSTRUÇÃO CIVIL (OLIVEIRA, 2020)	O autor comenta sobre as tecnologias BIM existentes, e foca na troca de informações entre diferentes <i>softwares</i> para integrar diferentes modalidades de projeto. Apresenta algumas funcionalidades de cada plataforma e estuda a possibilidade de se trabalhar com BIM em projetos elétricos e solares FV.
GUIA EXPLICATIVO DO USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM 4D) NO PLANEJAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO (MOURA FÉ, 2019)	A autora realiza a modelagem de um edifício em 3D no REVIT, realizando o planejamento da obra através de outros <i>softwares</i> com o objetivo de implementar a camada BIM 4D. O desenvolvimento conta partes de projeto elétrico, onde utiliza um <i>template</i> de outra instituição de ensino. O trabalho ainda ressalta a falta de especialização em BIM, que é uma das barreiras de sua implementação no mercado.
MODELAGEM BIM PARA O REGISTRO DIGITAL DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO MODERNO (COSTA; SOUZA; BALDESSIN; ALBANO; FABRICIO, 2021)	Os autores realizaram a modelagem de componentes BIM para realizar o registro digital de um edifício histórico. Durante o trabalho são citados alguns aspectos de criação de famílias, entretanto, são voltados para o setor arquitetônico.

Fonte: Tabela de autoria própria (2023); (Pesquisa realizada no dia 31/05/2023).

Outro fator de destaque para a relevância do trabalho aqui apresentado está no Decreto n° 9377, de 17 de maio de 2018 que institui a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling*. Esta ação tem o intuito de estimular o uso da nova tecnologia e é denominada “Estratégia BIM BR”, possuindo os seguintes objetivos específicos (Portal da Câmara dos Deputados, 2018):

- I. difundir o BIM e seus benefícios;
- II. coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;
- III. criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM;
- IV. estimular a capacitação em BIM;
- V. propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;
- VI. desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM;

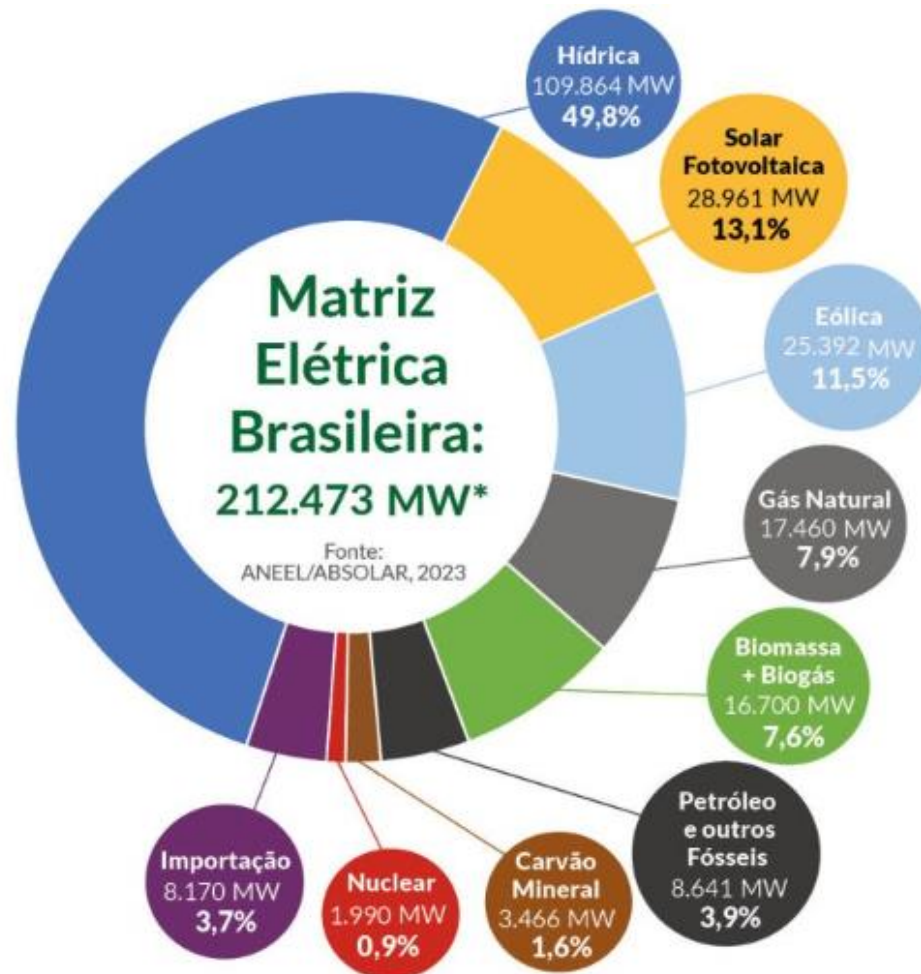
- VII. desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;
- VIII. estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM; e
- IX. incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

O decreto estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras públicas e serviços de engenharia realizadas pelos órgãos e pelas entidades de administração pública federal. O processo já está em fase de implementação, e espera-se que a utilização do BIM seja definitiva a partir de 2028.

Portanto, fica clara a importância de se utilizar o modelo BIM em projetos de engenharia. No caso de sistemas FV a relevância é maior, pois essa área está em crescente evolução e faz parte de um contexto geral onde as instalações elétricas em *Building Information Modeling* ainda estão em um nível básico de pesquisa e mercado.

Outro aspecto importante é que o segmento FV no Brasil já conta com mais de 28 GW operacionais, conforme pode ser contemplado na Figura 1, sendo Minas Gerais o segundo maior estado com maior potência instalada, cerca de 2684 MW. O setor já gerou mais de 868 mil novos empregos, evitou a emissão de mais de 36,7 milhões de toneladas de CO₂ e movimentou 143,4 bilhões de reais em novos investimentos no país (ABSOLAR, 2023).

Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira em março de 2023.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2023).

1.3 Objetivo Geral

Pretende-se com este TCC, evidenciar as ferramentas e técnicas necessárias envolvidas na modelagem das famílias e criação de *template* para uma instalação de usina solar FV voltada a um consumidor comum, isto é, consumidor do tipo B1 (baixa renda) que consome mensalmente cerca de 220 kWh/mês (Glossário - CEMIG RI, 2020) (Valores de tarifas e serviços, 2023). Os modelos 3D serão baseados em fabricantes conhecidos do mercado, e os parâmetros elétricos inseridos às famílias conforme especificações de fichas técnicas e *datasheets*. Posteriormente, essas famílias serão agrupadas em um *template*, onde pretende-se realizar configurações de eletrodutos, prancha, diagrama, notas, imagens e símbolos para gerar

o projeto elétrico desse sistema FV.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver os modelos 2D/3D de todas as famílias;
- Implementar parâmetros necessários;
- Realizar teste de hospedagem em projeto arquitetônico;
- Configurar *template*, ambiente de trabalho no REVIT, prancha, diagramas e símbolos de anotação de acordo com as necessidades de projeto;
- Teste final de todas as funcionalidades juntas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dimensionamento FV

O primeiro passo para realização de um projeto solar FV é o estudo preliminar da usina, que consiste em analisar as variáveis envolvidas na instalação. Localização geográfica e histórico de consumo de energia elétrica são pilares para o dimensionamento dos módulos solares, inversor de frequência e seus respectivos dispositivos de proteção.

A partir do histórico de consumo de energia elétrica é possível calcular a média mensal e diária do cliente que pretender instalar uma usina. Para determinar a quantidade de recurso solar do local é utilizado o número de Horas Sol Pleno (HSP), que indica quantas horas a radiação solar permanecerá constante e igual a 1 [kW/m²] (MENDES, 2020).

Uma fonte confiável para obtenção de dados é o CRESESB, esta plataforma fornece a irradiação solar em plano horizontal do local, de acordo com as coordenadas geográficas informadas. Desta forma, o HSP pode ser mensurado a partir da média de irradiação dentro dos meses analisados (normalmente 12 meses).

De posse dos dados de consumo de energia e HSP é possível determinar a potência de pico do sistema FV, como segue na Equação (1) (MENDES, 2020); (OLIVEIRA, 2018).

$$P = \frac{E}{PR \cdot HSP} \quad (1)$$

onde, P é a potência de pico do sistema FV [Wp], E é o consumo diário médio anual [Wh/dia], PR é o desempenho global e HSP a quantidade de Horas Sol Pleno.

O desempenho global está vinculado às condições de operação da usina FV e suas respectivas perdas, sejam elas por queda de tensão, sombreamento e eficiência do inversor de frequência. Para as condições solares do Brasil é razoável considerar um PR médio de 80% (PINHO E GALDINO, 2014).

A partir da potência do sistema é possível determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos, este passo depende do fabricante e do tipo de tecnologia da placa solar (silício, monocristalino ou filme fino) no qual pretende-se trabalhar, pois existem diversas potências nominais no mercado (MENDES, 2020), conforme representa a Equação (2).

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{P}{P_{\text{módulo}}} \quad (2)$$

onde, P é a potência de pico do sistema FV [Wp] e $P_{\text{módulo}}$ é a potência nominal máxima do módulo escolhido [W].

Uma vez determinada a potência nominal máxima e conseqüentemente o número de módulos do sistema deve-se atentar ao dimensionamento do inversor de frequência, ou seja, sua potência nominal de saída, tensão, frequência e principalmente características de entrada e faixa de operação *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Maximum Power Point Tracking (MPPT) ou em português “Rastreador do Ponto de Máxima potência” basicamente é a entrada onde serão conectadas as *strings* de módulos solares (conectados em série). Um inversor de frequência pode ter uma ou mais entradas MPPT's, cada uma destas entradas possui limites técnicos que devem ser respeitados, como faixa de operação e máxima tensão CC (corrente contínua) (NeoSolar, 2022).

A tensão total do sistema deve ser calculada para verificar compatibilidade com o inversor, esta tensão é representada pela soma das tensões nominais CC de cada módulo de acordo com Mendes (2020), e como representado na Equação (3).

$$V_{ts} = V_{MPPT} \cdot N^\circ_{\text{mod}_s\acute{e}rie} \quad (3)$$

onde, V_{ts} é a tensão total do sistema, V_{MPPT} a tensão CC nominal dos módulos e $N^\circ_{\text{mod}_s\acute{e}rie}$ a

quantidade de módulos conectados em série na *string*.

A máxima tensão do sistema ocorre quando as *strings* estão com circuito aberto, então a Equação (4) pode ser reescrita substituindo V_{MPPT} pela tensão de circuito aberto dos módulos (V_{oc}) (MENDES, 2020).

$$V_{ts,2} = V_{oc} \cdot N^{\circ}_{\text{mod}_s\text{érie}} \quad (4)$$

Desta forma, o inversor deve possuir tensão de entrada superior a V_{ts} e $V_{ts,2}$, sendo importante que estes limites não devem nunca ser ultrapassados, pois trata-se do principal risco de dano ao equipamento (PINHO E GALDINO, 2014).

2.2 Famílias e Parâmetros do REVIT

O desenvolvimento em BIM consiste em trabalhar com informações detalhadas de cada elemento utilizado em projeto, por exemplo, uma tomada de uso geral deve conter informação de cor, potência, tensão, fator de potência etc. No REVIT, pode-se dizer que as engrenagens que coordenam o processo de modelagem da informação são as famílias, que possuem os tipos a seguir (Autodesk Knowledge Network, 2019).

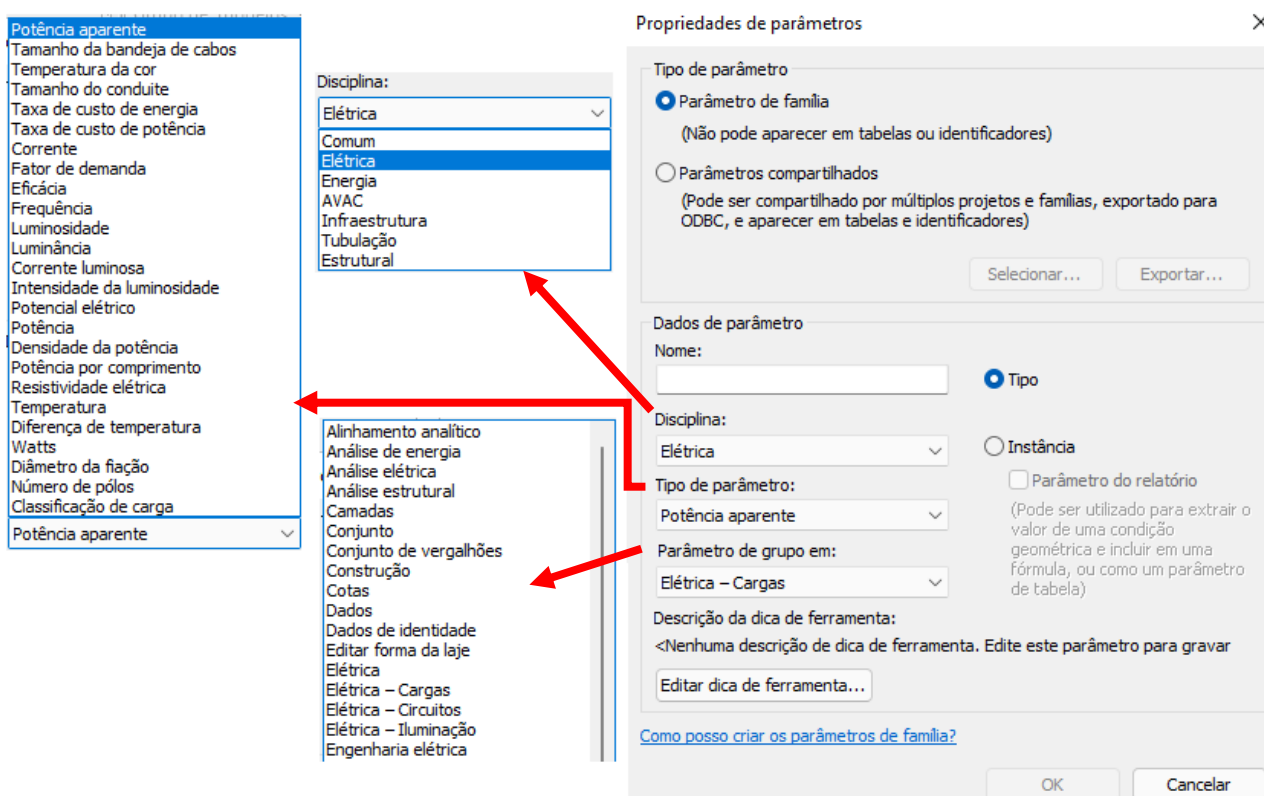
- Famílias do sistema: são famílias predefinidas pelo REVIT, não podem ser modificadas/criadas externamente.
Exemplos: paredes, telhados e dutos;
- Famílias carregáveis: são famílias modeladas livremente (2D ou 3D) para atender as necessidades de projeto, podendo ser elementos de construção, acessórios, dispositivos e peças.
Exemplos: módulo solar, inversor de frequência, tomadas e quadros;
- Famílias de anotações: são subcategorias das famílias carregáveis, bastante utilizadas na criação de detalhes e para extrair informações através dos parâmetros.

Conforme mencionado, os parâmetros são responsáveis por compor detalhes técnicos, basicamente esta parte da engrenagem é responsável por extrair e/ou adicionar informações às famílias, possuindo os seguintes tipos (MAINARDI, 2014). Exemplos: carimbos, símbolos para diagramas e folhas de prancha.

- Parâmetro da família: armazena somente informações referentes a família. Exemplo: altura e largura de objetos;
- Parâmetro compartilhado: permite galgar informações entre famílias e entre famílias e projetos, portanto, estes parâmetros são criados em arquivos com extensão .txt, estes ficam salvos no armazenamento interno da máquina para facilitar o acesso do *software*.

O processo de criação de um parâmetro ainda conta com outras especificações a serem determinadas, como nome do parâmetro, disciplina, tipo de parâmetro e grupo. Sendo elétrica a disciplina de interesse deste trabalho, segue na Figura 2 alguns detalhes das propriedades de parâmetros. Exemplo: identificador de potência (família de anotação), acessa a informação da potência elétrica de um determinado dispositivo através de um parâmetro compartilhado previamente estabelecido.

Figura 2 - Propriedades dos parâmetros.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Nota-se também pela Figura 2, as propriedades que existem mais três opções selecionáveis, “Tipo”, “Instância” e “Parâmetro de relatório”, essas opções determinam o comportamento do parâmetro criado (MAINARDI, 2014).

- Tipo: o parâmetro só poderá ser editado na janela de edição do tipo, que é uma configuração global, ou seja, ao alterar na janela de edição todas as famílias/elementos do projeto que contém esse tipo de parâmetro serão alteradas(os).

Exemplo: elevação de uma *string box* a 1,5 metros de altura, se o parâmetro de elevação for por “Tipo”, todas as *strings box* do projeto vão ficar a 1,5 metros do piso acabado;

- Instância: o parâmetro se torna editável no painel de propriedades do REVIT, as famílias/elementos recebem valores individuais.

Exemplo: seguindo a linha de raciocínio anterior, neste caso, cada *string box* poderia ficar em diferentes elevações dentro do projeto;

- Parâmetro de relatório: esta opção serve para reportar as informações como parâmetros, possibilitando de serem utilizadas em outros casos.

Exemplo: reportar a informação de elevação a 1,5 metros do piso acabado como um parâmetro para que possa ser utilizada na elevação de outro dispositivo elétrico;

- Existem ainda os parâmetros de projeto, que só podem ser configurados dentro do *template* ou em ambiente de projeto. Estes parâmetros são utilizados para especificar informações nas categorias de elementos, geralmente são utilizados em tabelas e não podem ser compartilhados entre um projeto e outro.

Exemplos: bitola de cabos e tipo de condutor inseridas em conduites e informações do carimbo nas informações do projeto.

2.3 Modelagem 3D no REVIT

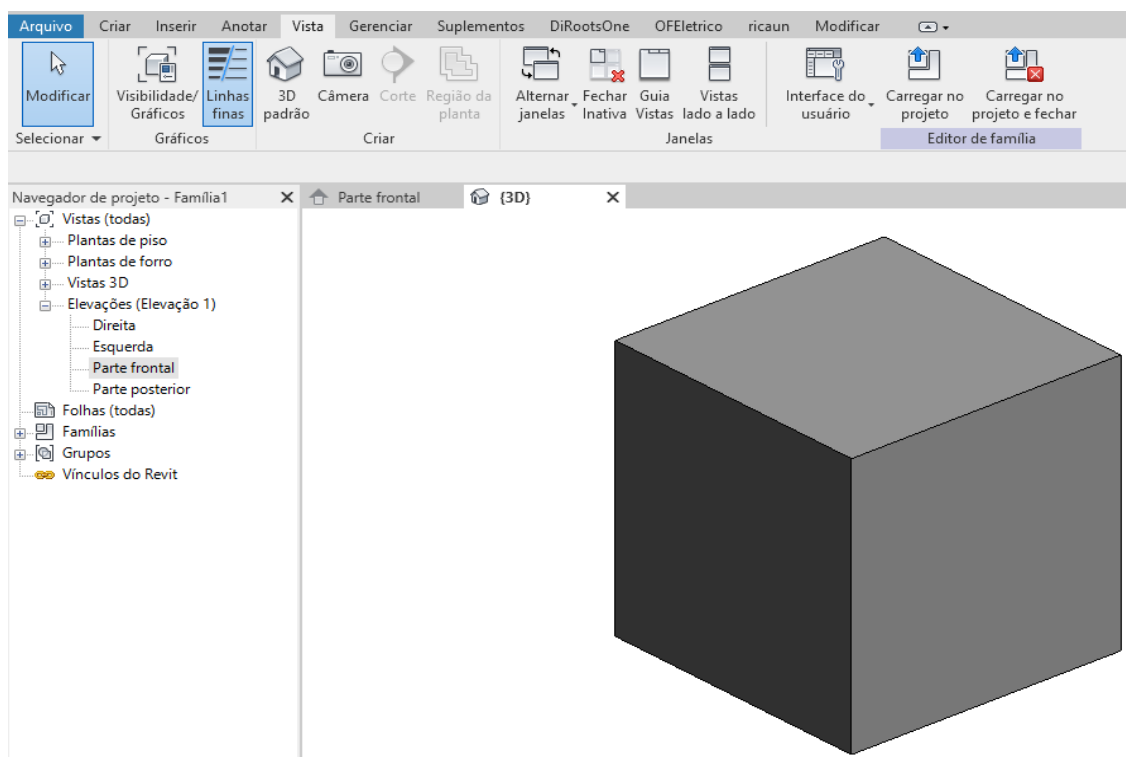
A modelagem no REVIT permite criar famílias tridimensionais para os dispositivos de projetos FV. Trabalhar com modelos 3D significa ter uma representação fiel do sistema e dar liberdade criativa ao projetista, proporcionando não só uma documentação qualificada, mas também influenciando na tomada de decisões.

No ambiente de criação de famílias devem ser exploradas as ferramentas de modelagem, sendo elas: extrusão (sólida e vazia), mesclar, revolver, varredura simples e

varredura com mescla. Basicamente estas ferramentas funcionam a partir de um modelo geométrico, criando o elemento dentro de um certo limite deste objeto. A demonstração de cada ferramenta e como utilizá-las é encontrada na apostila “CURSO BÁSICO DE AUTODESK REVIT 3ª ed.” desenvolvida pelo Programa de Educação Tutorial da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (CURSO BÁSICO DE AUTODESK REVIT 3ª ed. PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL - ENGENHARIA CIVIL UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA).

Apresenta-se na Figura 3, um breve exemplo de modelagem 3D utilizando as ferramentas de extrusão sólida e vazia, inicialmente foi criado um cubo a partir do desenho de um quadrado, especificando as dimensões (neste caso, 1000 [mm]) nas coordenadas x, y e z.

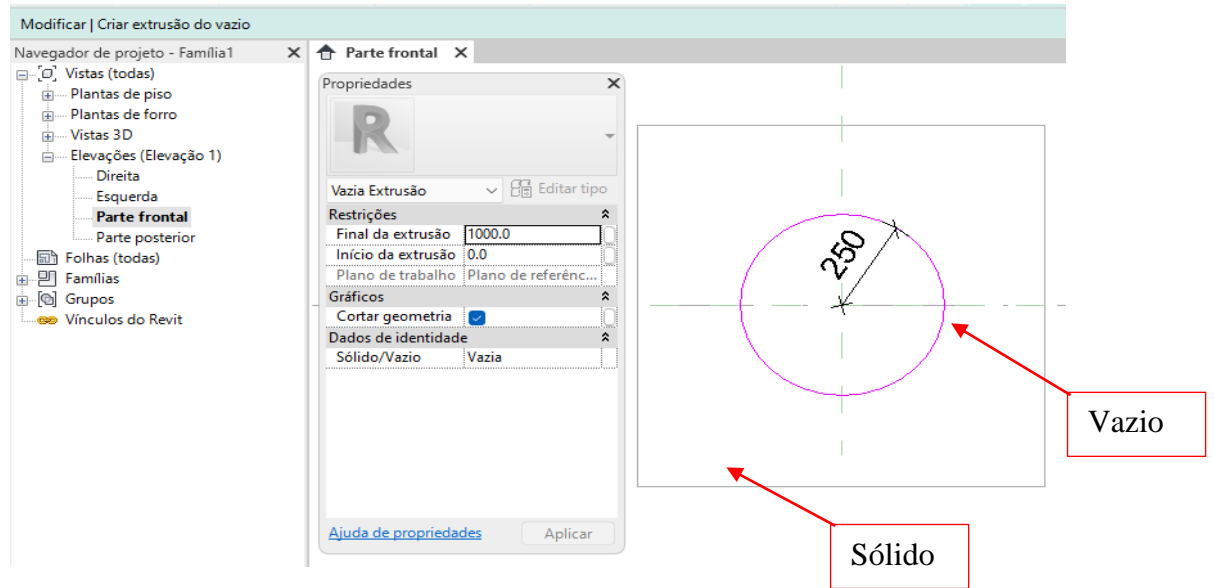
Figura 3 - Cubo modelado no REVIT.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Aplicando a ferramenta de extrusão vazia é possível criar um furo cilíndrico (de raio 250 [mm]) neste cubo, como segue na Figura 4.

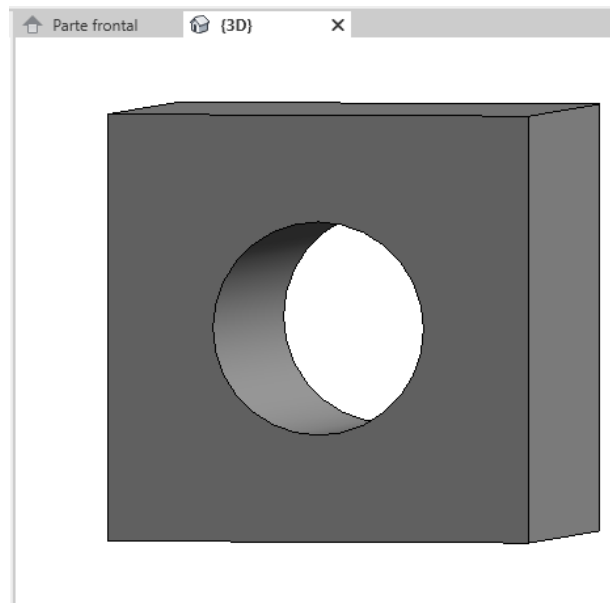
Figura 4 - Objetos geométricos em plano.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

O resultado final é observado na Figura 5.

Figura 5 - Cubo perfurado em perspectiva.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Dimensionamento, modelagem e parametrização das famílias FV

Baseando-se nos exemplos e no material apresentado nos tópicos 2.2 e 2.3, foram modeladas todas as famílias necessárias para a elaboração de um projeto elétrico FV direcionado a um consumidor tipo B1 da CEMIG. No intuito de nortear as referências visuais para modelagem foi realizado um pré-dimensionamento básico que simula a instalação de uma usina solar FV para compensar o gasto do consumidor em questão, isto é, um sistema FV que basicamente gera a energia elétrica que a residência consome. Como fonte de dados foi utilizada a conta de energia elétrica de uma casa localizada em Carmo da Mata, situada no interior de Minas Gerais. A Tabela 3 relata o consumo e as médias mensal e diária no último ano.

Tabela 3 - Histórico de consumo nos últimos 12 meses.

Estudo de caso: Carmo da Mata - MG	
Mês/Ano	Consumo (kWh)
Jan./23	234
Dez./22	224
Nov./22	205
Out./22	219
Set./22	218
Ago./22	216
Jul./22	230
Jun./22	224
Mai./22	184
Abr./22	195
Mar./22	198
Fev./22	184
Média mensal (kWh/mes)	210,917
Média diária (kWh/dia)	7,031

Fonte: Tabela de autoria própria (2023).

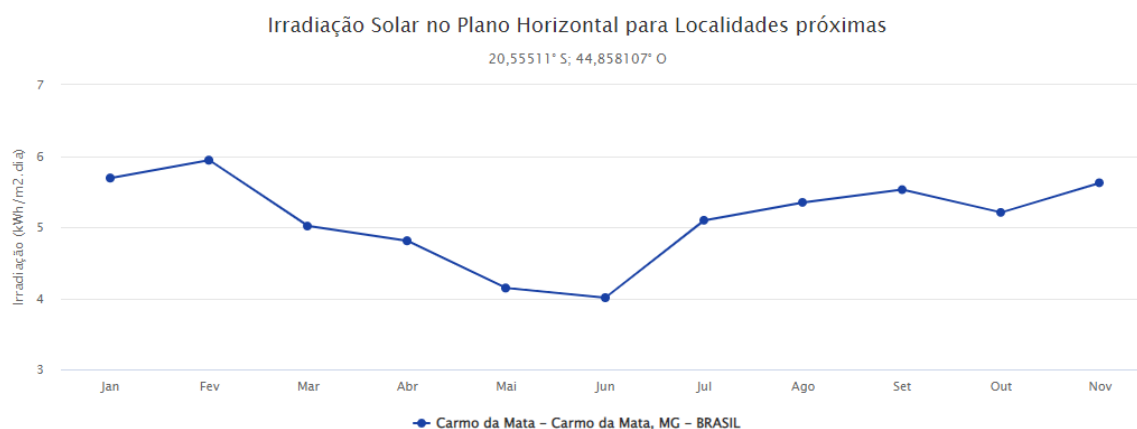
As coordenadas do local foram extraídas do *Google Maps*, sendo: (-20.55511 Sul;

-44.858107 Oeste). Tratando estas coordenadas no CRESESB é possível extrair o índice HSP médio da região, sendo 5,05 conforme os dados exibidos na Figura 6.

Figura 6 - Irradiação solar no plano horizontal para a cidade de Carmo da Mata - MG.

Latitude: 20,55511° S
Longitude: 44,858107° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													Média	Delta		
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez
<input checked="" type="checkbox"/>	Carmo da Mata	Carmo da Mata	MG	BRASIL	20,601° S	44,849° O	5,2	5,69	5,94	5,01	4,81	4,14	4,01	4,23	5,10	5,35	5,53	5,21	5,6	5,05	1,93
<input type="checkbox"/>	Claudio	Claudio	MG	BRASIL	20,5° S	44,849° O	6,2	5,72	5,97	5,02	4,86	4,19	4,06	4,25	5,13	5,39	5,55	5,26	5,6	5,08	1,92
<input type="checkbox"/>	Carmo da Mata	Carmo da Mata	MG	BRASIL	20,601° S	44,949° O	10,8	5,69	5,85	4,99	4,78	4,17	3,98	4,23	5,12	5,31	5,52	5,18	5,5	5,03	1,86



Fonte: (CRESESB- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, 2014).

De posse destes dados é possível determinar a potência de pico e o número de módulos do sistema com auxílio das Equações (1) e (2). Foi considerado um desempenho global de 75%.

$$P = \frac{7,031}{0,75 \cdot 5,05} = 1,856 \text{ [kWp]}$$

Baseando-se nos produtos do fabricante GCL, foi considerada uma potência nominal de 330 [W] para os módulos solares, que resulta em 6 módulos totais.

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{1,856 \cdot 1000}{330} = 5,625 \rightarrow 6$$

Desta forma, a potência total dos painéis é de 1980 [kWp], como o objetivo é apenas compensar o gasto de energia elétrica e obter dispositivos de exemplo para a modelagem no REVIT foi adotado um inversor de 2000 [W] da marca ecoSolys.

A usina FV pré dimensionada é composta por uma *string* simples, ou seja, todos os módulos solares são ligados em série e conectados ao inversor de frequência. Neste momento

deve-se atentar as compatibilidades elétricas na entrada MPPT.

Com base nos dados das Figuras 7 e 8 e utilizando as Equações (3) e (4) é possível determinar a tensão total do sistema para tensão nominal, tensão de circuito aberto e posteriormente comparar os dados da *string* (6 módulos em série) com os limites do inversor.

$$V_{ts} = 37.8 \cdot 6 = 226.8 \text{ [Vcc]}$$

$$V_{ts} = 46.2 \cdot 6 = 277.2 \text{ [Vcc]}$$

Figura 7 - Características elétricas módulo solar GCL-P6/72.

GCL-P6/72

ALTA EFICIÊNCIA MÓDULO MULTICRISTALINO

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS (STC)					
TIPO (STC)	GCL-P6/72 310	GCL-P6/72 315	GCL-P6/72 320	GCL-P6/72 325	GCL-P6/72 330
Potência Máxima Pmax (W)	310	315	320	325	330
Tensão de Potência Máxima Vm(V)	37	37,2	37,4	37,6	37,8
Corrente de Potência Máxima Im(A)	8,38	8,47	8,56	8,64	8,73
Tensão de Circuito Aberto Voc(V)	45,4	45,6	45,8	46	46,2
Corrente de Curto-circuito Isc(A)	8,99	9,08	9,17	9,24	9,33
Eficiência do Módulo (%)	16,0	16,2	16,5	16,7	17,0
Tolerância da Saída de Potência Pm(W)	0~+5				

Valores em Condições de Teste Normalizadas STC (Massa de Ar AM1,5, Irradiação 1000 W/m², Temperatura da Célula 25°C).

Fonte: (GCL-P6/72, [s.d.]) (Ecos 2K Plus - ecoSolys, 2022).

Figura 8 - Características elétricas de entrada do inversor de frequência ecoSolys 2K Plus.

MODELO	Ecos 2K PLUS
Dados de entrada	
Potência fotovoltaica nominal	2.000 W
Tensão CC de partida	48V
Máxima tensão CC	480 V
Corrente CC máxima	11,5 A
Faixa de operação MPPT	180 ~ 480 V
Faixa de operação MPPT potência nominal	189 ~ 480 V
Quantidade de MPPT	1
Conector CC	Tipo MC4

Fonte: (Ecos 2K Plus - ecoSolys, 2022).

Nota-se que a máxima tensão CC do inversor é maior para ambos os casos de V_{ts} , ou seja, $480 [V_{cc}] > 226.8 [V_{cc}]$ e $480 [V_{cc}] > 277.2 [V_{cc}]$.

De maneira análoga, a corrente de potência máxima ($I_m = 8.73A$) e a corrente de curto-circuito ($I_{sc} = 9.33A$) não ultrapassam o limite de 11,5 [A] do inversor de frequência.

Sendo assim, foram definidos os modelos de referência para as famílias dos principais dispositivos elétricos da usina FV.

- Inversor Ecos 2K Plus;
- 06 módulos solares GCL-P6/72.

3.1.1 Módulo solar fotovoltaico

Foram utilizados os conceitos apresentados nos itens 2.2 e 2.3 deste trabalho de conclusão de curso para efetuar a modelagem da família paramétrica para o módulo solar FV GCL-P6/72. A partir do *datasheet* do módulo foi possível determinar suas dimensões tridimensionais, detalhes e cores para replicar no ambiente de modelagem do REVIT.

A partir das Figuras 9 e 10 foram criadas as extrusões 3D no REVIT, buscando entregar maior fidelidade possível ao módulo real, Figura 11.

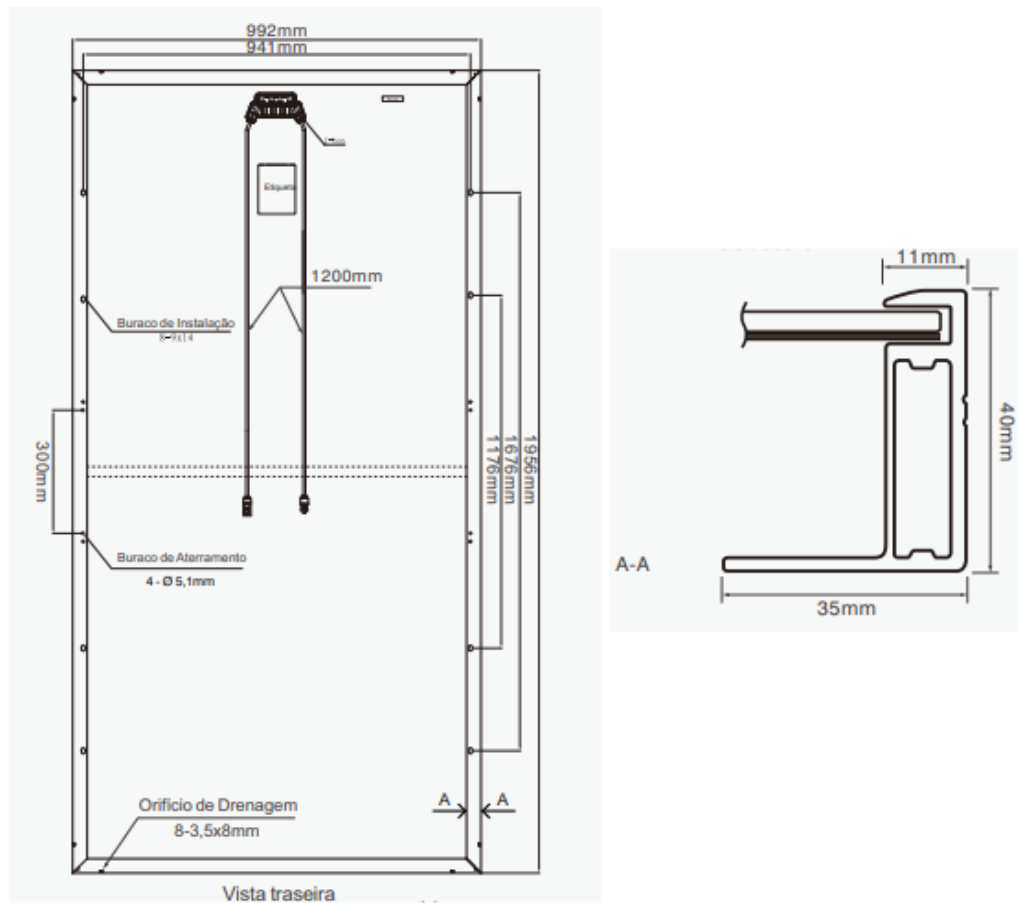
Figura 9 - Dados gerais do módulo GCL-P6/72.

DADOS GERAIS	
Células Solares	Poly 156×156 mm (6 polegadas)
Orientação das Células	72 Células (6×12)
Dimensões do Módulo	1956×992×40 mm (77 × 39,05 × 1,57 polegadas)
Peso	22,5 kg/26 kg
Vidro	Vidro solar de alta transparência 3,2 mm (0,13 polegadas) ou 4 mm (0.16 polegadas)
Placa Traseira	Branca
Estrutura	Prata, Liga de alumínio anodizado
Caixa de Junção	Certificação Ip67
Cabos	4,0 mm ² (0,006 polegadas ²), 1200 mm (47,2 polegadas)
Conector	MC4 Original ou Compatível
Força do vento/ Sobrecarga de neve	2400 Pa/5400 Pa*

*Para mais detalhes, consultar o manual de instalação da GCLSI

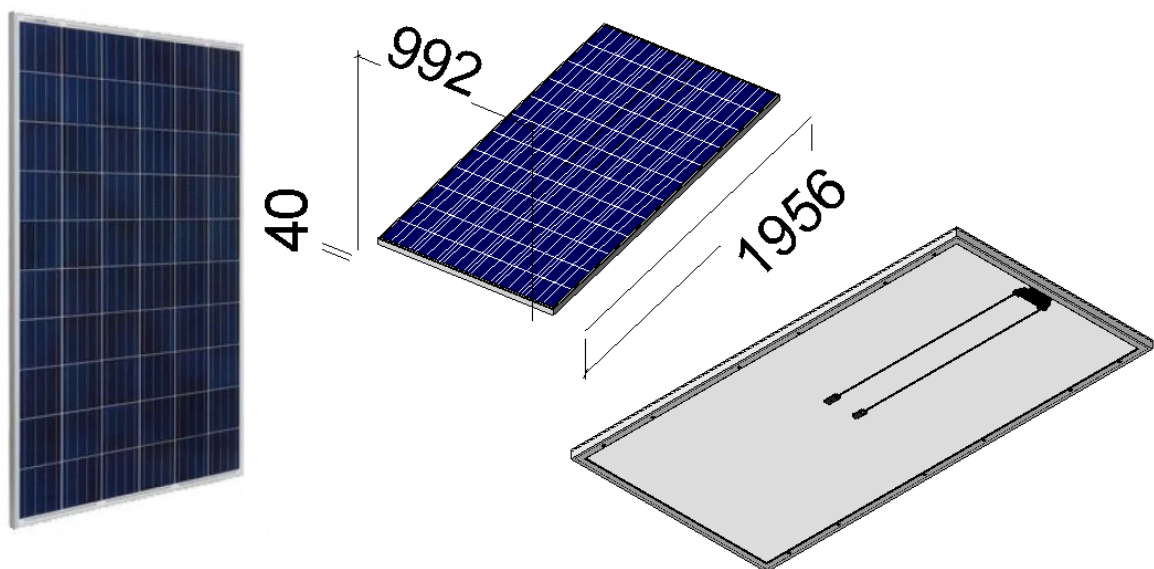
Fonte: (GCL-P6/72, [s.d.]).

Figura 10 - Desenho técnico GCL-P6/72.



Fonte: (GCL-P6/72, [s.d.]).

Figura 11 - Módulo GCL-P6/72 real versus Módulo solar FV. RFA (REVIT).



Fonte: (GCL-P6/72, [s.d.]); Imagem de autoria própria (2023).

Para esta família as únicas informações atribuídas foram as colorações, que são inseridas a partir de um parâmetro de família como “Tipo” fazendo parte do grupo “materiais e acabamentos”, ou seja, as cores são fixas para cada extrusão deste tipo e não ficarão disponíveis no painel de propriedades do projeto. Neste caso foram criados quatro parâmetros de materiais com suas respectivas cores: material padrão (prata), material j-box (preto), material painel (azul) e material posterior (branco).

Esta família tem como função compor os arranjos fotovoltaicos, isto é, o conjunto de 06 módulos juntamente de suas estruturas de sustentação. O processo de implementação de uma família em outra é chamado de “Aninhamento”, que basicamente permite inserir a família do módulo dentro do ambiente de modelagem das estruturas, fornecendo todas as informações configuradas anteriormente.

3.1.2 Arranjos fotovoltaicos

O processo de implementação de uma usina FV passa não só pelo dimensionamento correto dos dispositivos, mas também pela escolha ideal dos suportes de fixação. Uma boa estrutura segue um papel de pilar dentro da usina, pois garante que os módulos não se desprenderão, resistindo a intempéries como a força dos ventos e alterações climáticas. Cabe ao engenheiro responsável realizar o dimensionamento correto da estrutura, garantindo a segurança da geração FV e do local que será instalada a usina (BADRA, 2021).

Sendo assim, foi realizada uma pesquisa nos catálogos de fabricantes de estruturas fotovoltaicas, Figura 12, visando obter referências visuais para modelagem no REVIT. Alguns dos fabricantes consultados foram: SONNEN ESTRUTURAS, SSM SOLAR DO BRASIL E ROMAGNOLE.

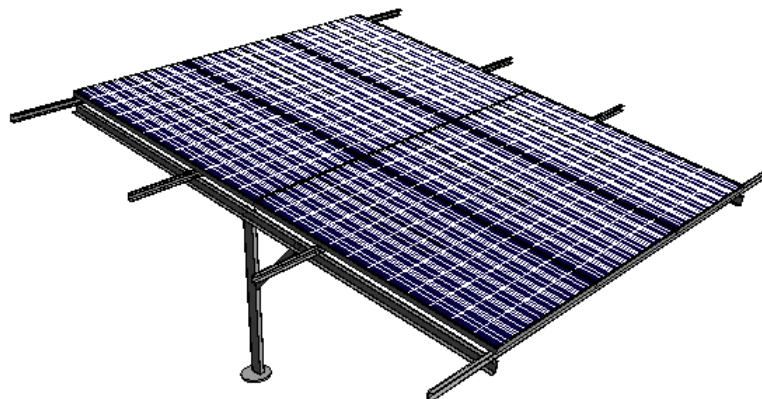
Figura 12 - Estruturas fotovoltaicas.



Fonte: (SSM SOLAR DO BRASIL, 2021).

Após a concepção de ideias para modelagem, as estruturas foram finalmente confeccionadas com dois tipos, monoposte com fixação no solo e suporte para telhados de cerâmica. Conforme mencionado, a família criada para o módulo solar no tópico anterior foi aninhada e replicada na modelagem dos arranjos, gerando os resultados apresentados na Figura 13.

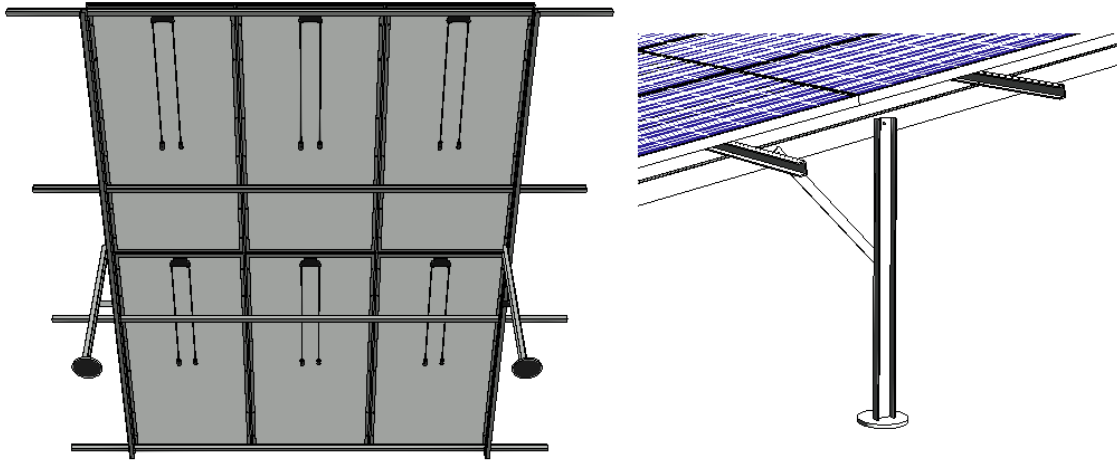
Figura 13 - Arranjo fotovoltaico em estrutura monoposte. RFA (REVIT).



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

A Figura 14 - Mostra alguns detalhes da modelagem exposta na Figura 13.

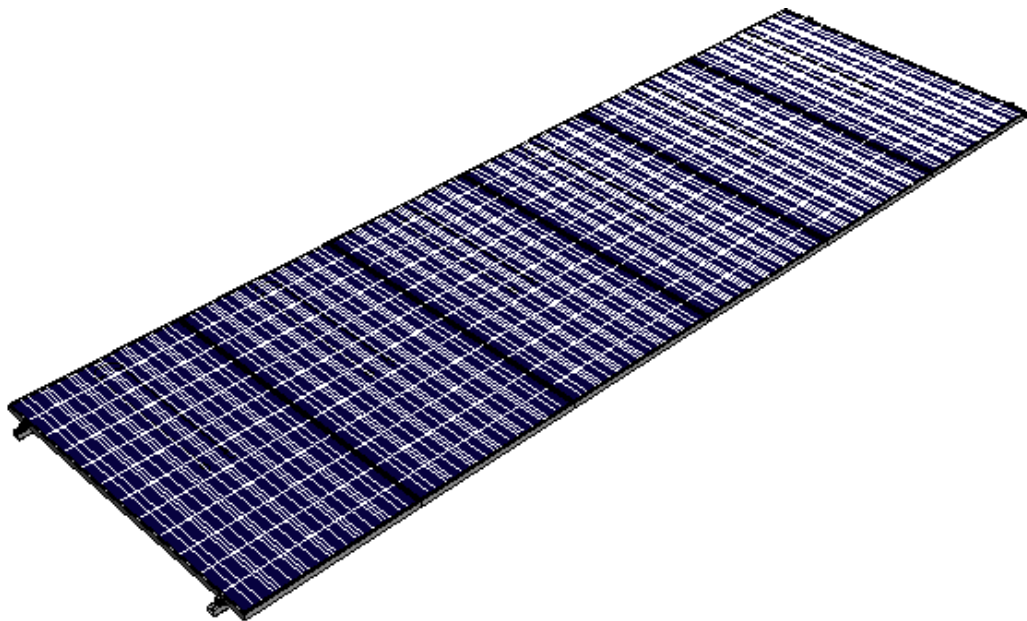
Figura 14 - Detalhes do Arranjo fotovoltaico em estrutura monoposte (REVIT).



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

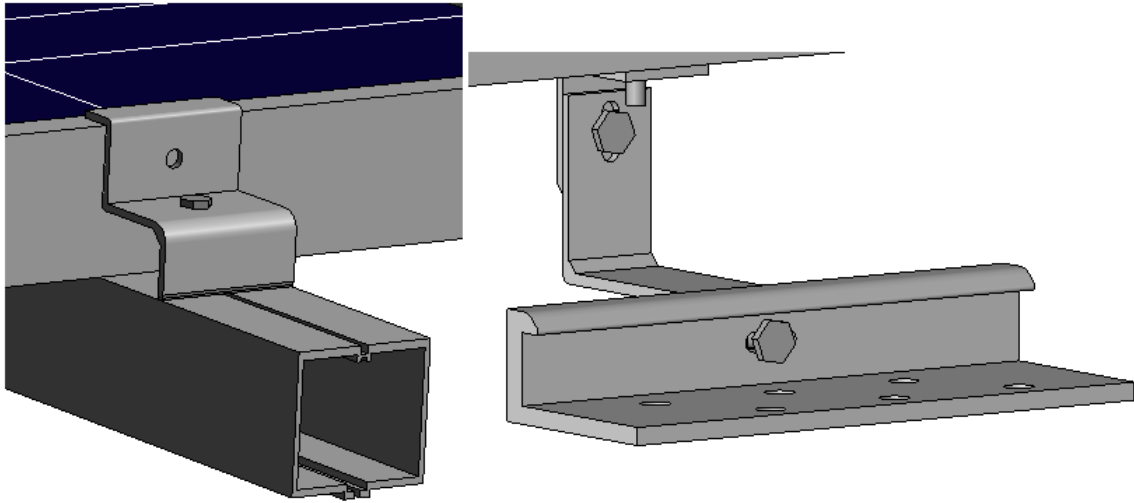
De maneira análoga, a Figura 15 e 16 demonstram os resultados para a estrutura do sistema de telhado cerâmico.

Figura 15 - Arranjo fotovoltaico em estrutura para telhado cerâmico. RFA (REVIT).



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

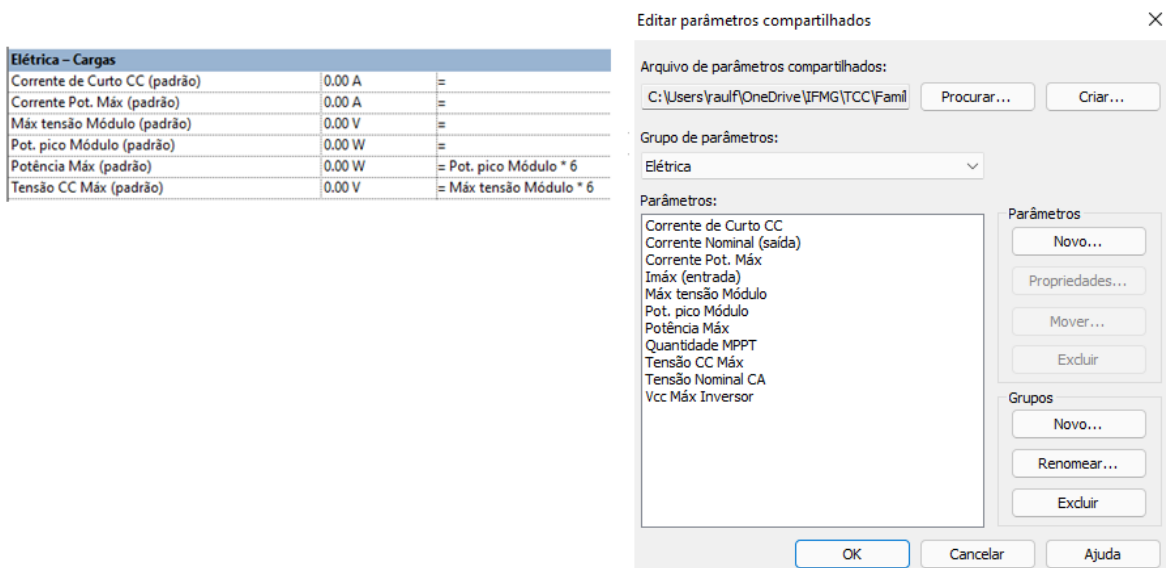
Figura 16 - Detalhes do arranjo fotovoltaico para telhado cerâmico. RFA.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Para os arranjos, além das cores e dos detalhes foram implementados parâmetros compartilhados no intuito de extrair as especificações técnicas referentes aos módulos solares. Os parâmetros foram criados em um grupo denominado “Elétrica”, que é composto pelos dados referentes ao arranjo FV e ao inversor de frequência. Estes parâmetros agregaram na identificação e documentação do projeto, conforme presente na Figura 17.

Figura 17 - Parâmetros compartilhados dos arranjos FV e seu respectivo grupo.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Além de permitirem interação entre famílias e outros projetos, estes parâmetros são

individuais, ou seja, foram ajustados como “Instância” e ficam disponíveis no painel de propriedades do REVIT. Esta configuração permite alterar as informações elétricas nos arranjos em tempo real, bastando digitar os valores nos campos destinados. Os arranjos fotovoltaicos foram categorizados como “dispositivos elétricos” nas propriedades da família.

3.1.3 Inversor de frequência

Seguindo os moldes já apresentados para o desenvolvimento das famílias, o inversor foi modelado de acordo com as imagens e dados disponibilizados pelo fabricante ecoSolys, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Dados gerais inversor de frequência ecoSolys 2K Plus.

Dados gerais	
Dimensões (L x A x P)	315 x 345 x 150 mm
Peso	9,3 kg
Temperatura de operação	0 ~ 60 °C
Montagem	Fixação na parede - acompanha suporte
Grau de proteção	IP54 - de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60529:2017
Topologia	Sem transformador
Garantia	5 anos mediante cadastro - consulte os termos de garantia
Concessão INMETRO	006145/2020

Fonte: (Ecos 2K Plus - ecoSolys, 2022).

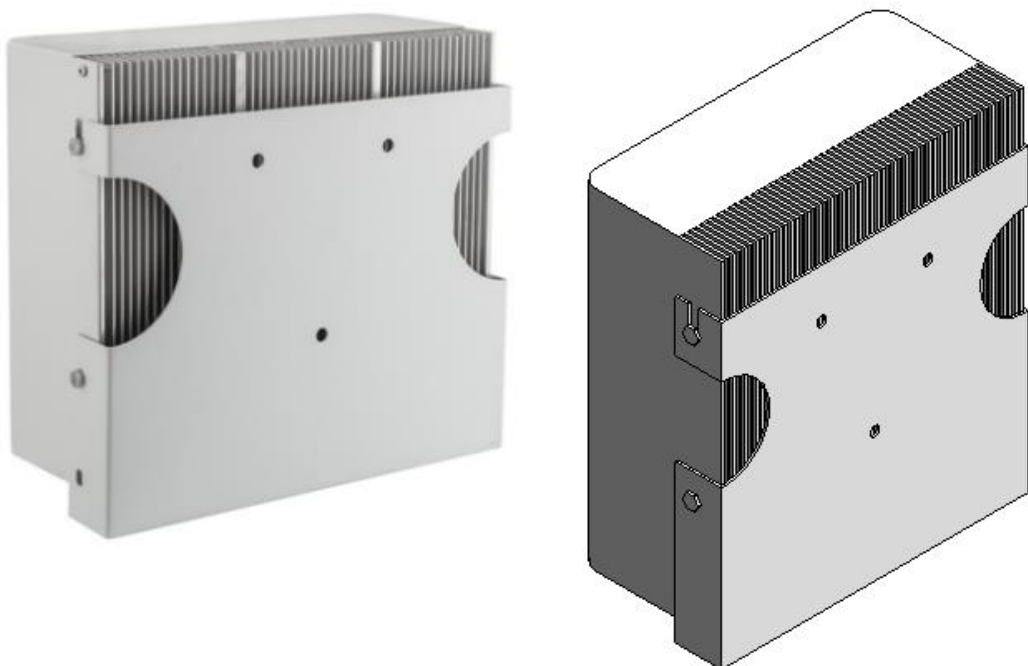
Os resultados da modelagem podem ser visualizados nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 - Inversor ecoSolys 2K Plus versus inversor. RFA (REVIT).



Fonte: (Ecos 2K Plus - ecoSolys, 2022); Imagem de autoria própria (2023).

Figura 20 - Posterior inversor ecoSolys 2K Plus versus inversor. RFA (REVIT).

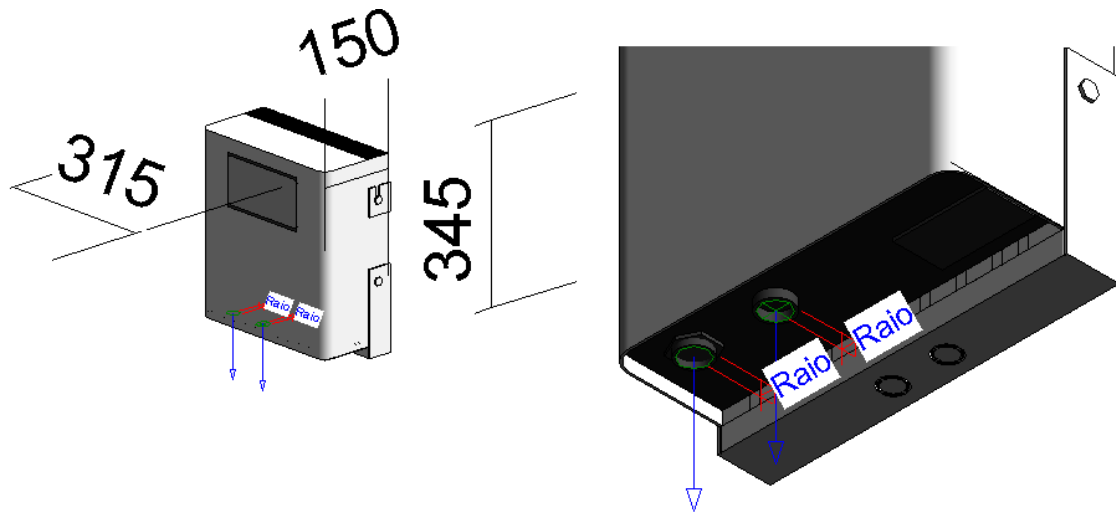


Fonte: (Ecos 2K Plus - ecoSolys, 2022); Imagem de autoria própria (2023).

O inversor de frequência Figura 21, possui os conectores elétricos MPPT (positivo e negativo) e o conector de saída para o sistema CA, estes conectores recebem cabeamento

elétrico, sendo necessária a implementação dos conectores de conduíte, ferramenta do REVIT que permite anexar conduítes (eletrodutos) entre as famílias modeladas. Os conectores CC positivo e negativo foram resumidos em somente uma saída para conduíte, isso porque nesta instalação um eletroduto já é capaz de comportar todos os cabos necessários.

Figura 21 - Detalhes inversor de frequência. RFA (REVIT).



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Assim como os arranjos, o inversor também recebeu parâmetros compartilhados para gerenciar suas informações elétricas, Figura 22, e contribuir nos processos de projeto. O inversor também foi categorizado como “dispositivo elétrico”.

Figura 22 - Parâmetros compartilhados do inversor de frequência FV.

Elétrica – Cargas		
Imáx (entrada) (padrão)	0.00 A	=
Potência Máx (padrão)	0.00 W	=
Quantidade MPPT (padrão)	0	=
Tensão Nominal CA (padrão)	0.00 V	=
Vcc Máx Inversor (padrão)	0.00 V	=

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.1.4 Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção, Figura 23, a 25 foram modelados com base em fabricantes consolidados do setor, como WEG, CLAMPER, CANEDIAN, STECK, GE, BENY

e outras.

Um dos principais dispositivos desta classe é o disjuntor termomagnético, um componente fundamental em sistemas elétricos, responsável por seccionar a corrente elétrica quando esta for prejudicial ao circuito elétrico. Se houver um pico que ultrapasse o valor considerado adequado, o dispositivo interrompe o fluxo de energia, protegendo a instalação elétrica de curto-circuito e outros problemas relacionados à sobrecarga elétrica. O disjuntor é instalado com uma calibração que permite o uso de uma corrente elétrica até um determinado valor (TECNOGERA, 2015).

Figura 23 – Modelo de disjuntor STECK.



Fonte: (AATB, 2023).

Seguidos dos disjuntores existem os dispositivos de proteção contra surtos (DPS), trata-se de um equipamento importante em instalações elétricas, pois protege os equipamentos contra danos causados por sobretensões transitórias, como descargas atmosféricas e manobras na rede elétrica. Ele funciona pela variação da impedância, permitindo a passagem de corrente elétrica em caso de sobretensão e desviando-a para o aterramento. É essencial seguir as normas técnicas e de segurança na instalação e manutenção do DPS (MATEUS VINTURINI, 2019).

Figura 24 – Modelos de DPS CLAMPER.



Fonte: (CLAMPER, 2023).

Quando se trata de sistemas FV é necessário instalar um dispositivo que atue como interruptor de corrente contínua, para este caso são utilizadas as chaves seccionadoras que tem como principal função seccionar e isolar circuitos, permitindo a desenergização das seções (strings) do circuito para garantir a segurança do operador durante o manuseio do equipamento. Além disso, é usada para interromper o fluxo de energia, fechando o circuito e permitindo uma manutenção segura (PROAUTO, 2022).

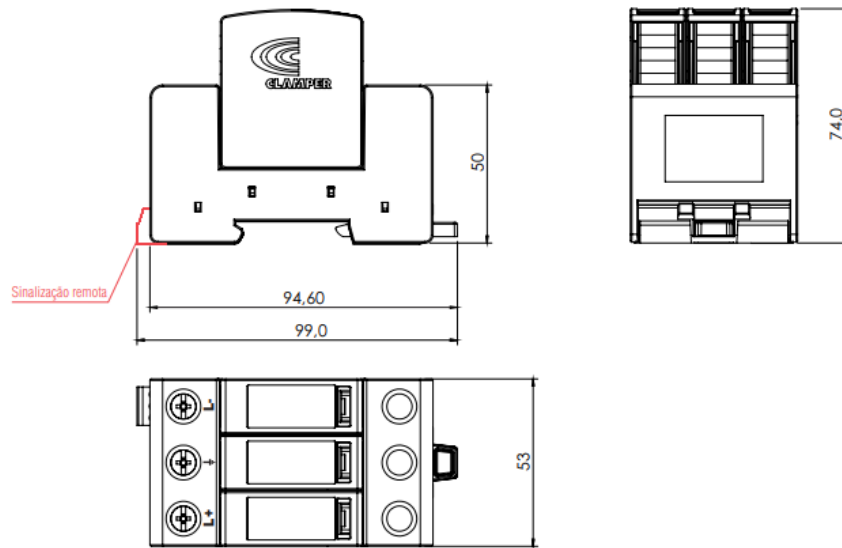
Figura 25 - Modelo de chave seccionadora BENY.



Fonte: (BENY, 2023).

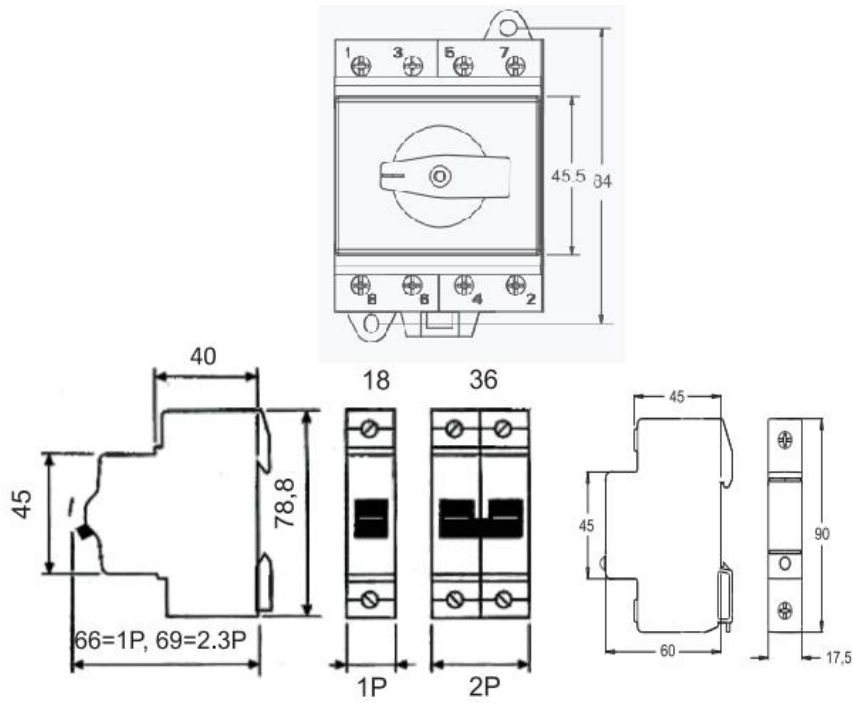
Estes dispositivos possuem a mesma estrutura de encaixe devido ao padrão de trilho DIN 35 mm, suas dimensões (altura x largura x profundidade) variam de acordo com o fabricante e tipo de dispositivo. Algumas dimensões são representadas nas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 26 - Dimensões DPS CLAMPER.



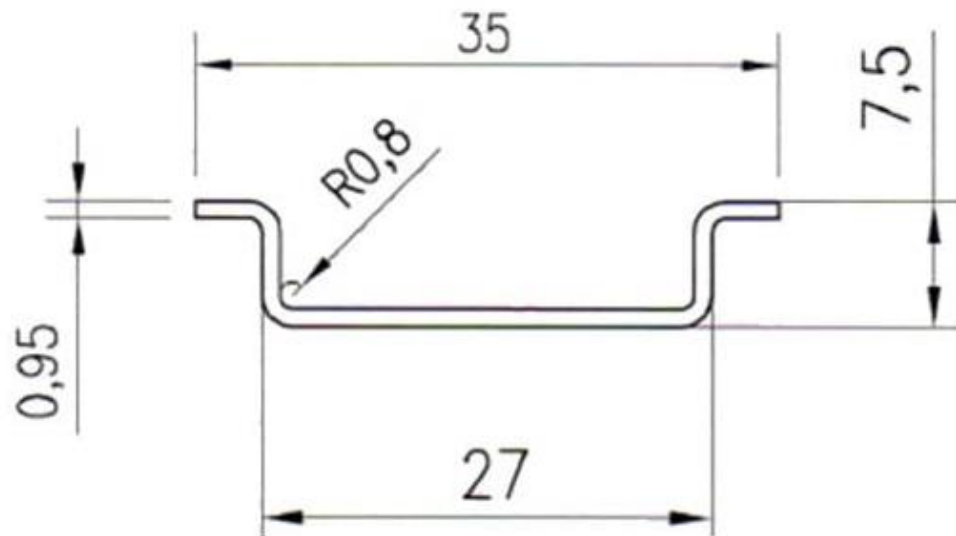
Fonte: (CLAMPER, 2023).

Figura 27 - Dimensões chave seccionadora, disjuntores e DPS.



Fonte: (DC ISOLATOR SWITCH, 2019) (AATB, 2023).

Figura 28 - Dimensões trilho DIN 35 mm.



Fonte: (CETTI, 2023).

As caixas de PVC foram modeladas conforme exemplos de *string box* de pequeno porte, Figura 29 e dimensionada conforme Figura 30.

Figura 29 - Modelos de *string box*.



Fonte: (PHB SOLAR, 2021) (F-STORE, 2020).

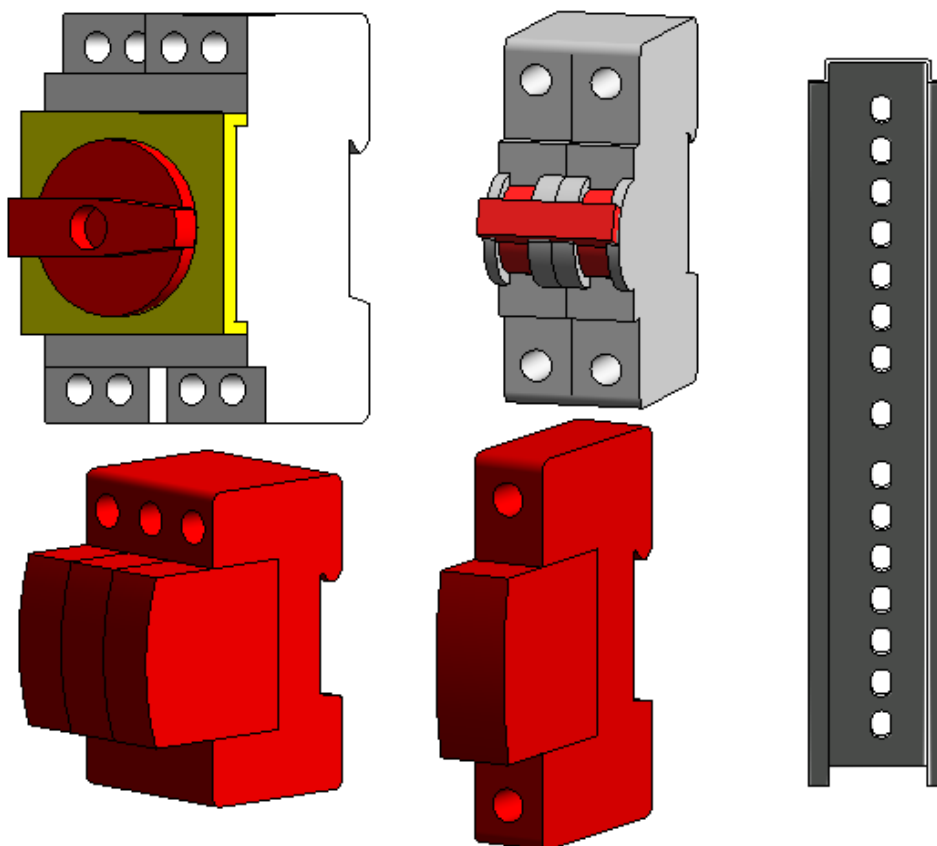
Figura 30 - Dimensões de exemplo *string box*.

MODELO	STB01-1000V/05
Entradas	1
Saídas	1
Tensão Máxima	1000Vcc
Dispositivo de proteção contra surto	(1)DPS classe II em "Y" com EN50539-11, I _{max} 40kA. Tensão de operação: 1000Vcc
Fusível	(2) Fusíveis 15A - 1000V - Tipo gPV
Chave Seccionadora	(1) 32A - 1000Vcc
Grau de Proteção	IP65
Dimensões	235X259X110mm (L X A X P)

Fonte: (F-STORE, 2020).

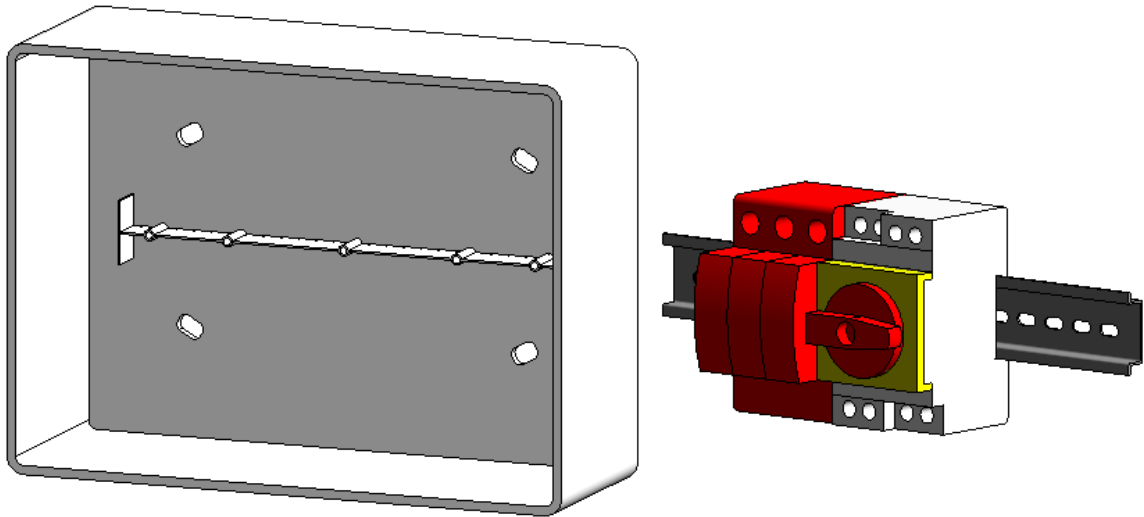
Com base nas Figuras 23, até 30 foram criadas as famílias necessárias para compor a *string box* e o quadro de proteção CA. A modelagem teve como base um quadro PVC, onde posteriormente foi aninhado o trilho DIN para receber as extrusões de DPS, disjuntor e chave seccionadora, gerando duas famílias finais, o desenvolvimento é exemplificado nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Chave seccionadora, disjuntor bipolar, DPS's e trilho DIN. RFA.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

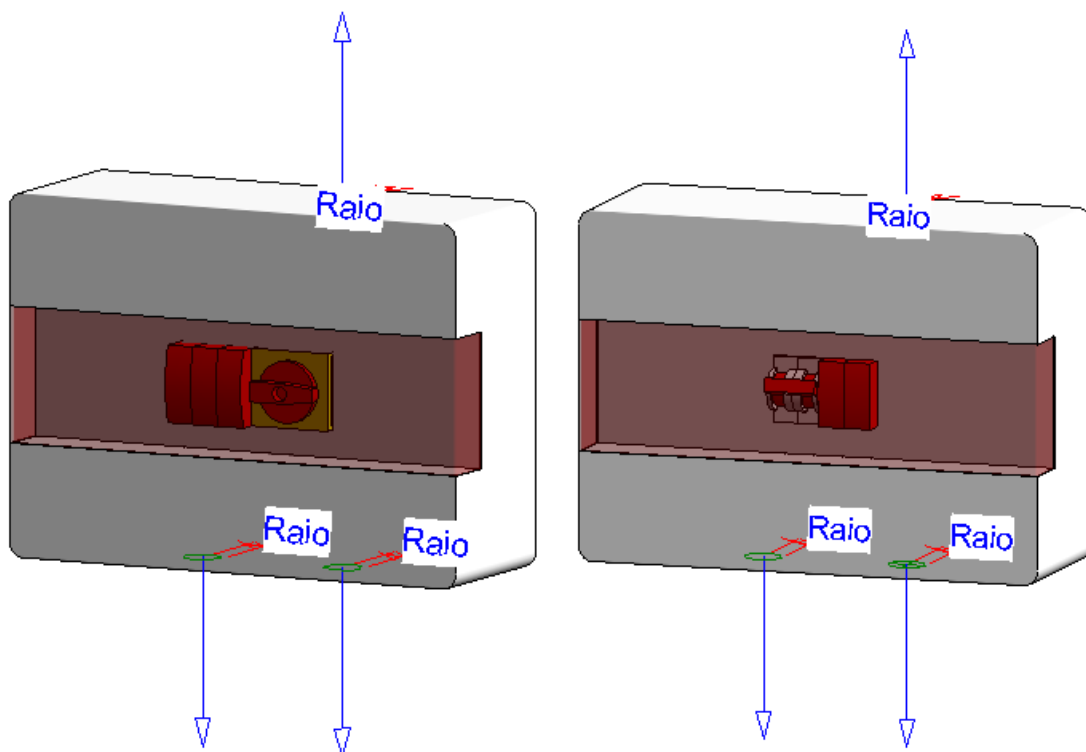
Figura 32 - Exemplo da montagem pelo aninhamento das famílias.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Por fim, segue na Figura 33 o resultado final da *string box* e do quadro de proteção CA, estas famílias também receberam conectores de conduíte para passagem de eletrodutos.

Figura 33 - *String box* e quadro de proteção CA. RFA.



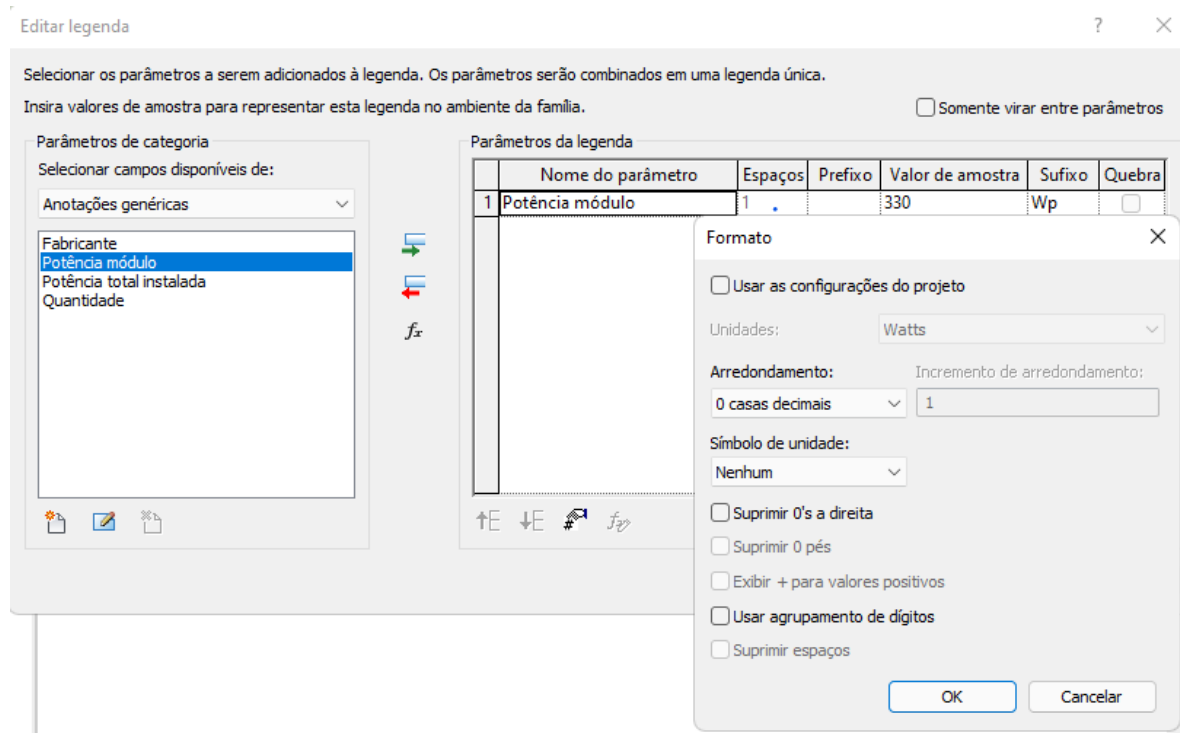
Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Os dispositivos de proteção foram categorizados como “equipamento elétrico”.

3.1.5 Famílias de anotação

Algumas famílias de anotação foram modeladas, são basicamente desenhos 2D e textos que simbolizam os dispositivos elétricos e informações da usina FV. Os textos representados nas anotações podem ser notas de texto (fixos) ou legendas (editáveis no ambiente de projeto). As informações das legendas, Figura 34, são gerenciadas com parâmetros e podem ser utilizadas como padrão da disciplina tipo e grupo ou pela inserção manual de prefixos e sufixos.

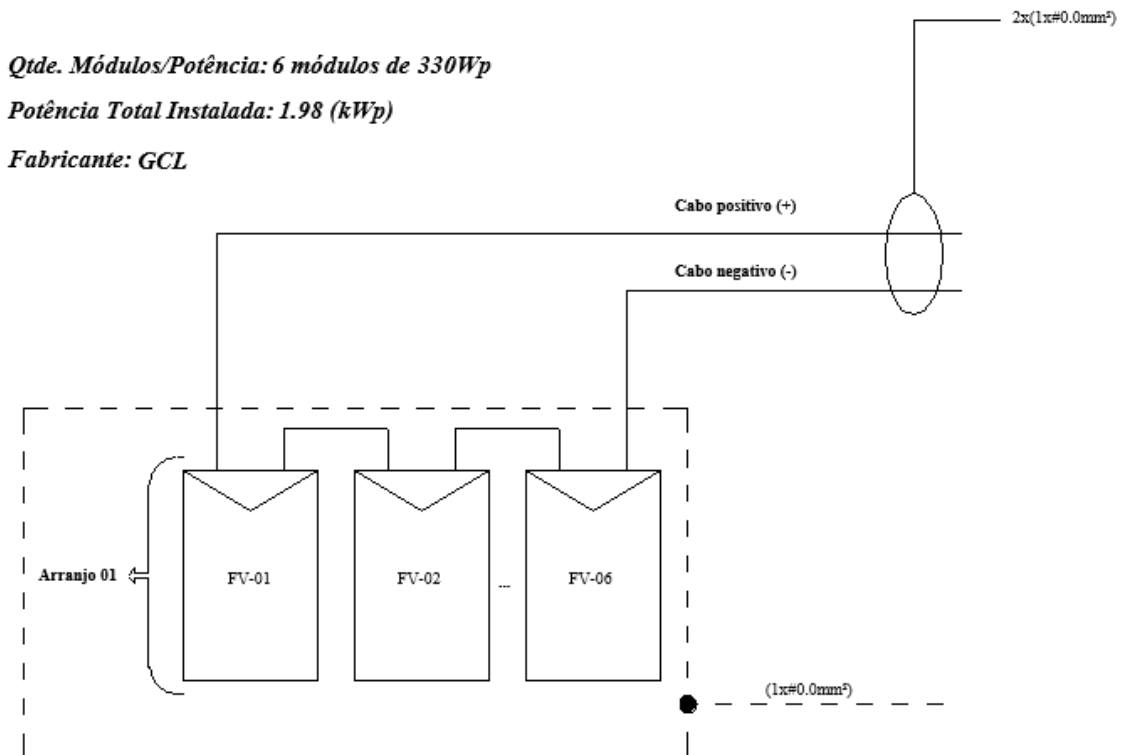
Figura 34 - Exemplo de configuração de legenda.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

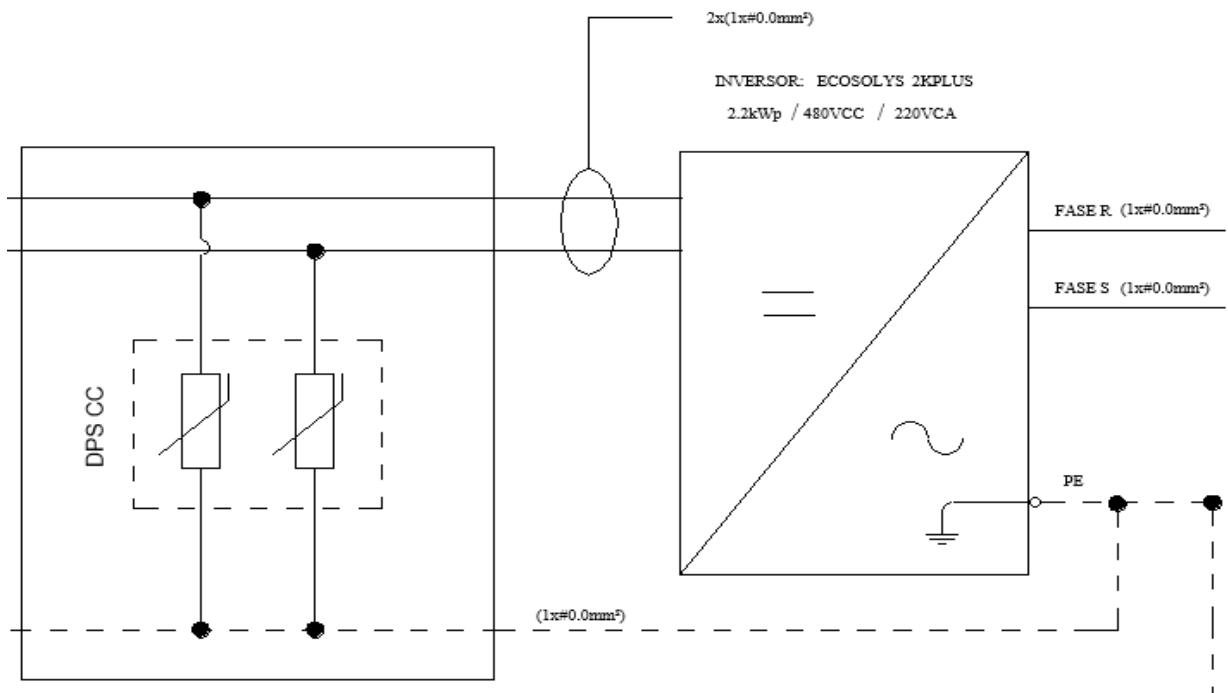
As famílias de anotação modeladas para compor o diagrama unifilar da usina FV receberam legendas editáveis nos seguintes campos: quantidade de módulos, potências, fabricante/modelo, bitola de cabos, tensão e corrente do disjuntor. Segue em partes nas Figuras 35, a 38 o diagrama unifilar.

Figura 35 - Famílias de anotação dados da geração e arranjo FV. RFA.



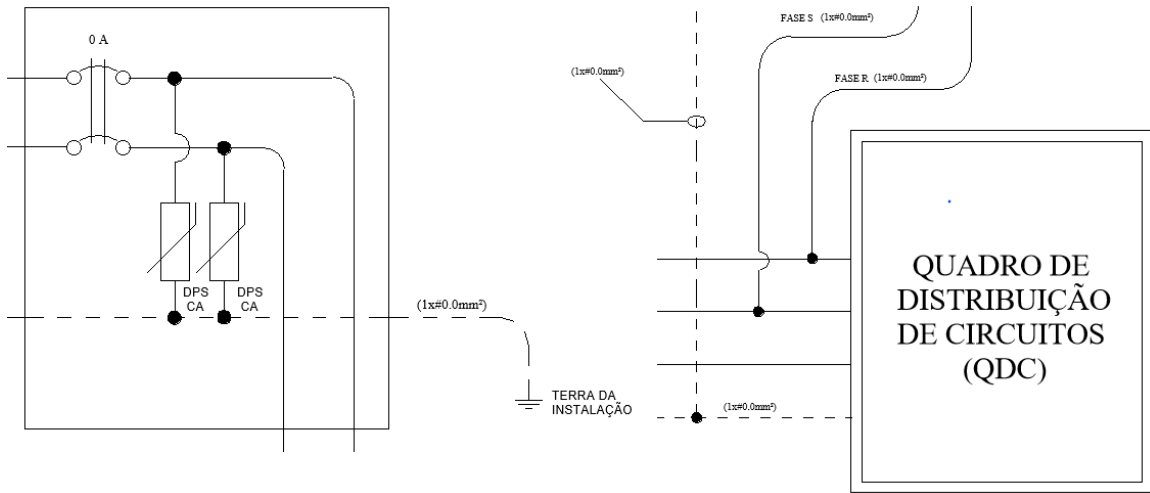
Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 36 - Famílias de anotação *string box* e inversor de frequência. RFA.



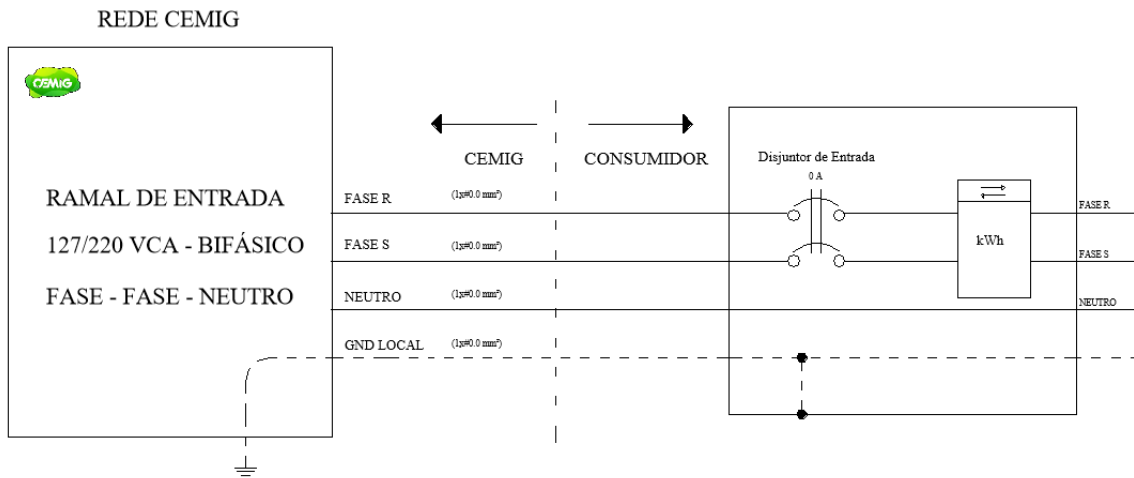
Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 37 - Famílias de anotação quadro de proteção CA e QDC. RFA.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 38 - Famílias de anotação medidor bidirecional e rede CEMIG. RFA.

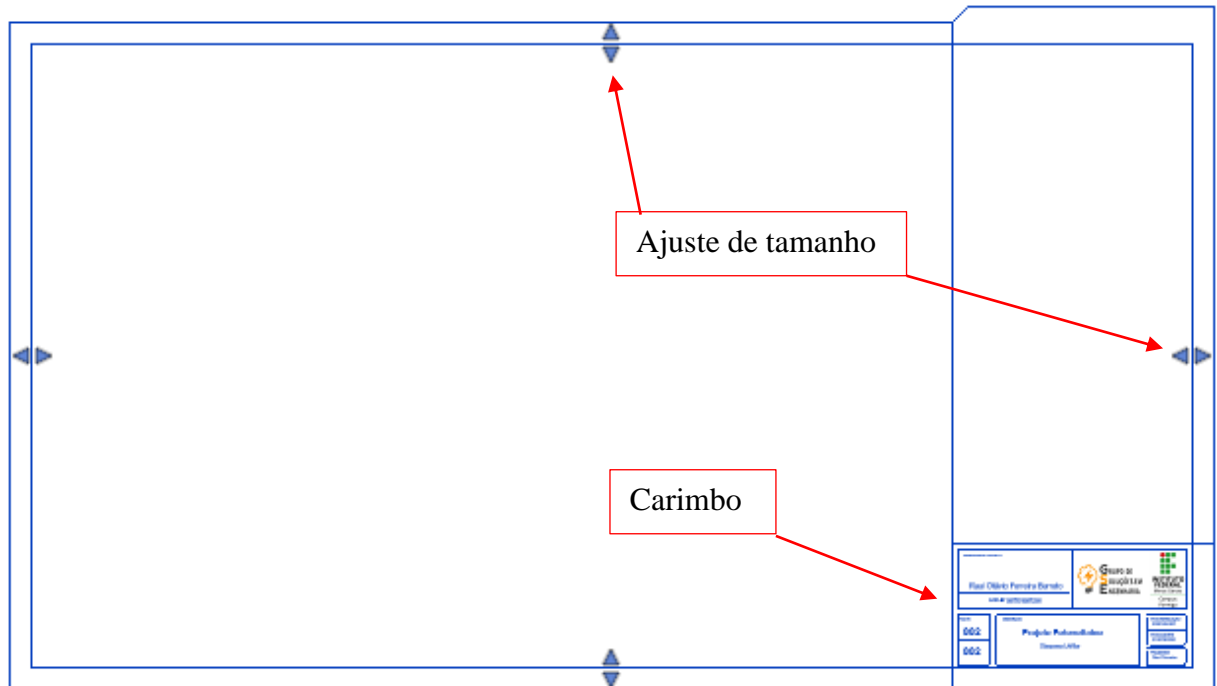


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Além dos símbolos para diagrama foi criado também um modelo de folha, Figura 39, para montagem final das vistas e detalhes do projeto. Uma folha no REVIT faz parte de um grupo especial de anotações chamado de “bloco de margens e carimbos” e possuem parâmetros de legenda pré-definidos para serem utilizados (Figura 40). Para implementar informações específicas nas legendas é preciso criar um grupo de parâmetros compartilhados para serem utilizados dentro do projeto. Neste caso, foram criados parâmetros de família como “instância” em altura e largura para que a prancha possa ser facilmente redimensionada de acordo com a necessidade em ambiente de trabalho, além de um grupo de parâmetros compartilhados denominado “Margens e carimbo” para legenda nos campos: responsável técnico, número do

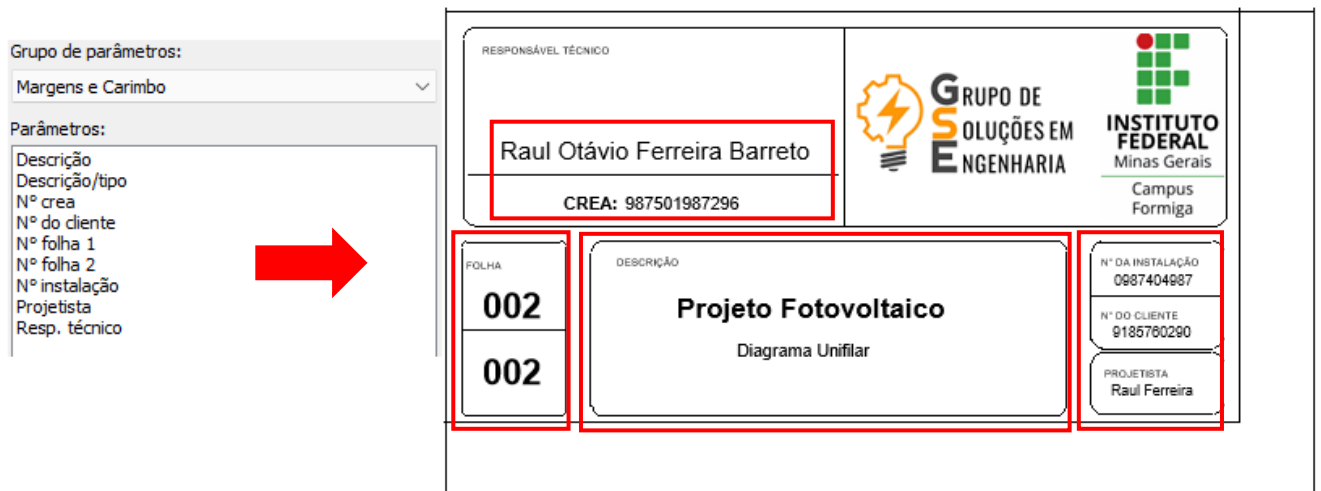
CREA, número da folha, descrição do projeto, número da instalação, número do cliente e projetista.

Figura 39 - Visão geral do modelo de folha. RFA.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 40 - Parâmetros compartilhados e detalhe do carimbo.



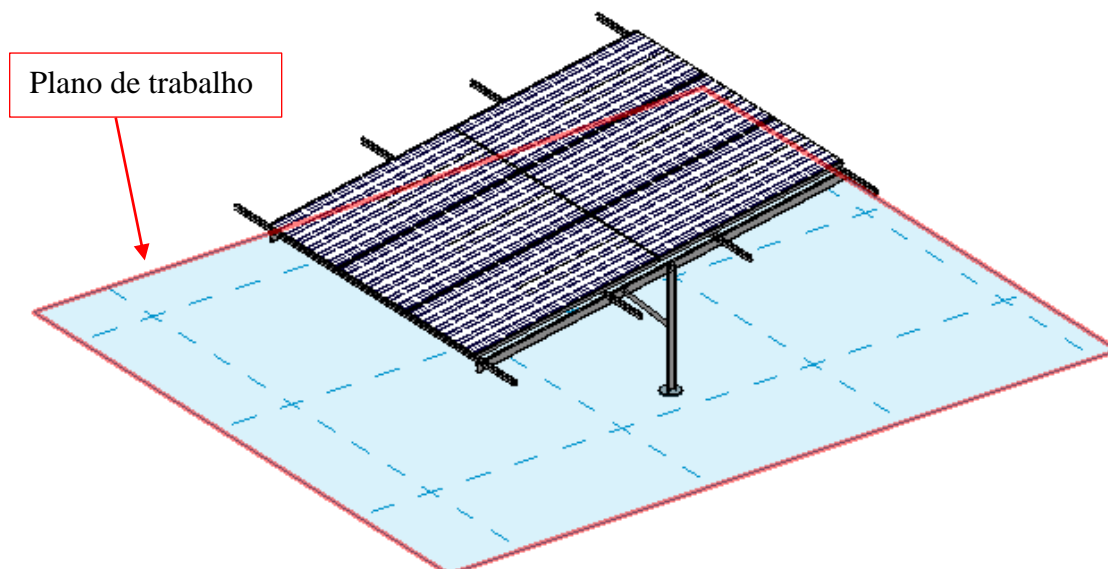
Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.2 Configuração de hospedagem em projeto

Além da implementação de parâmetros, conexões de conduíte e categoria, as famílias 3D devem ser devidamente configuradas para utilização em ambiente real de trabalho. O termo utilizado para esta configuração é “hospedagem” e existem basicamente duas formas de lidar com este fator: no plano de trabalho ou nos planos de referência da família.

Para o caso dos arranjos que são inseridos no solo ou telhado é conveniente utilizar o plano de trabalho, pois nestes ambientes a construção pode variar e esta opção faz com que o plano de trabalho determinado fique sempre em paralelo com o plano no qual o elemento será inserido. No exemplo da Figura 41 o plano de trabalho foi inserido na face inferior do suporte da estrutura, ou seja, este elemento sempre ficará posicionado com os “pés” da estrutura alinhados ao terreno.

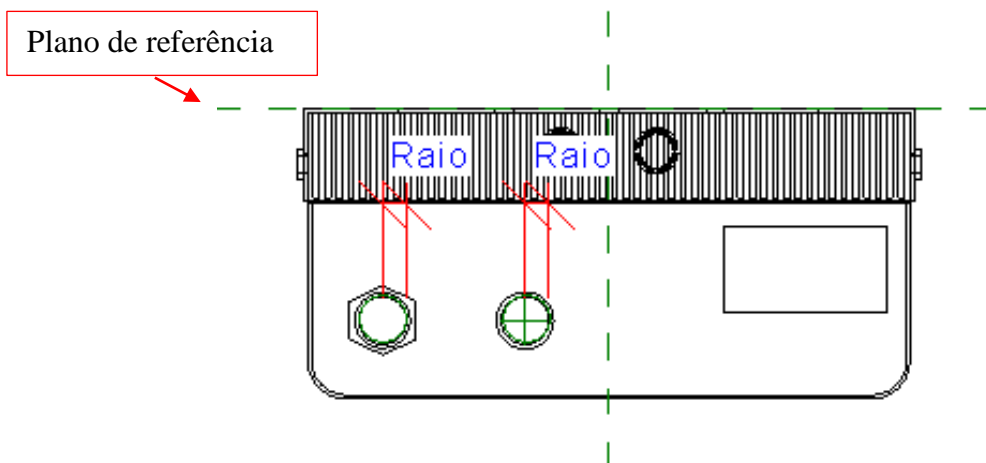
Figura 41 - Exemplo de configuração do plano de trabalho.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Já para o caso dos elementos que são dispostos em parede como *string box* e inversor é apropriado deixar a hospedagem baseada nos planos de referência. Como estes elementos são instalados de maneira aparente, basta manter suas faces posteriores alinhadas ao plano de referência em planta baixa, que neste caso já simula a situação do elemento estar sendo disposto em construção vertical, conforme Figura 42.

Figura 42 - Exemplo de configuração baseada no plano de referência.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

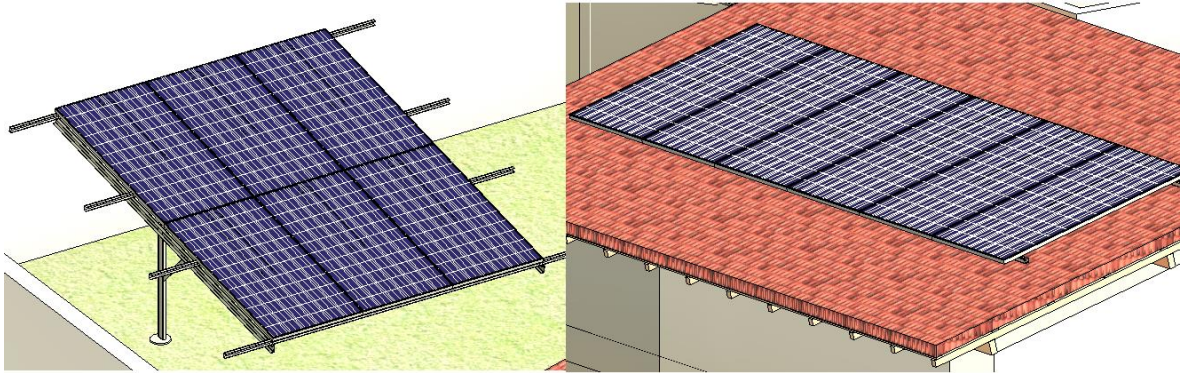
No intuito de visualizar estas configurações na prática, as famílias foram hospedadas em um projeto arquitetônico, Figura 43, desenvolvido no REVIT e cedido pelo Projeto de Extensão “REVIT para Projetos de Instalações Elétricas” ofertado pelo Grupo de Pesquisa GSE do IFMG – Campus Formiga. Este projeto também será utilizado na montagem final da usina FV que será apresentada ao longo do texto. Aspectos ligados à hospedagem dos arranjos e do inversor são apresentados nas Figuras 43, 44 e 45 respectivamente.

Figura 43 - Projeto arquitetônico modelo.



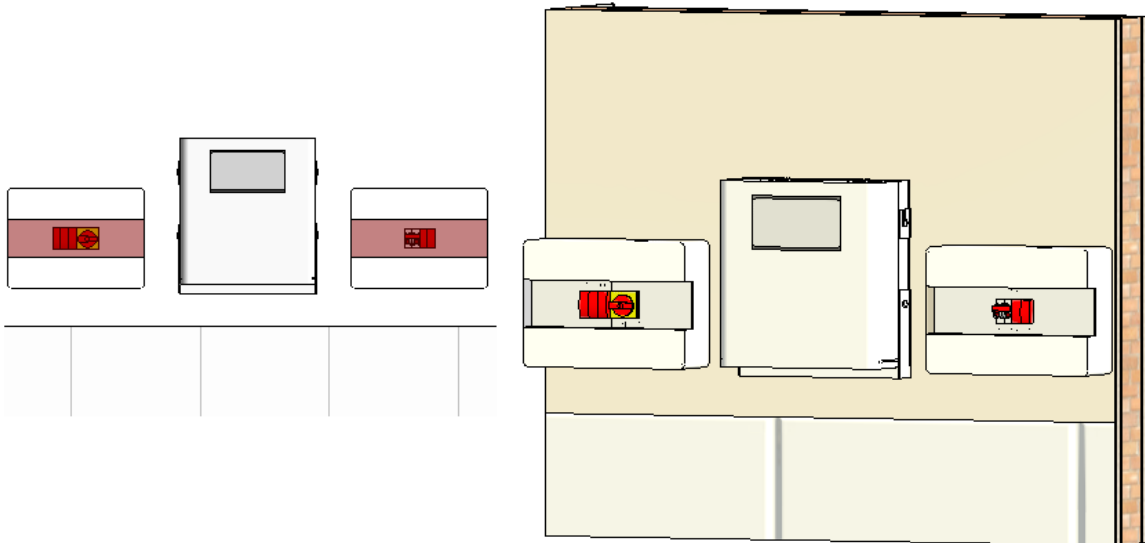
Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 44 - Hospedagem dos arranjos no terreno e telhado.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

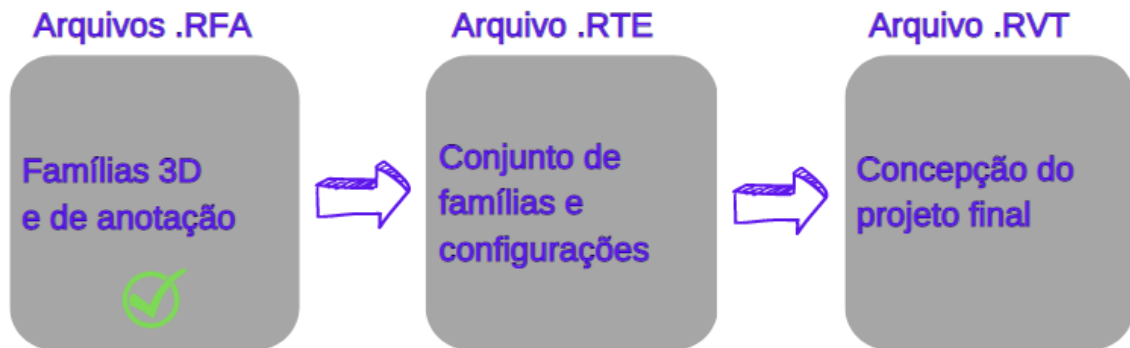
Figura 45 - Hospedagem do inversor, *string box* e quadro CA em parede.



Fonte: Imagem de autoria própria, 2023.

A hospedagem das famílias funcionou conforme planejado, ou seja, o lançamento dos elementos no projeto ficou disposto de forma correta nos planos de referência desejados. Assim, todos os arquivos. RFA, seja 3D ou de anotação estão aptos a compor o *template*. A Figura 46, apresenta o fluxograma desde a modelagem paramétrica até a concepção final do projeto.

Figura 46 - Sequência de desenvolvimento.

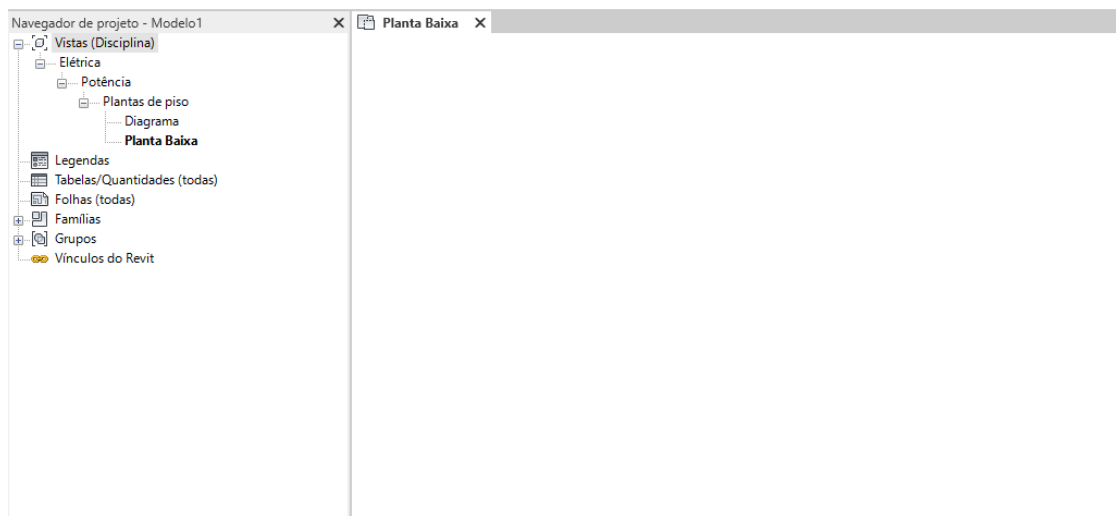


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.3 Configuração do *template*

Ao iniciar um novo modelo elétrico como modelo de projeto é interessante, inicialmente, organizar as vistas no navegador de projeto. O padrão do REVIT neste caso é a disciplina de elétrica seguida das subdisciplinas potência e iluminação contendo diversas vistas de planta. Neste caso, as duas vistas da subdisciplina potência foram renomeadas para “Planta Baixa” e “Diagrama”, todas as demais foram excluídas. Após, ainda permaneceram na tela os símbolos de elevação, estes também foram excluídos, fazendo com que o ambiente de trabalho esteja limpo, conforme a Figura 47.

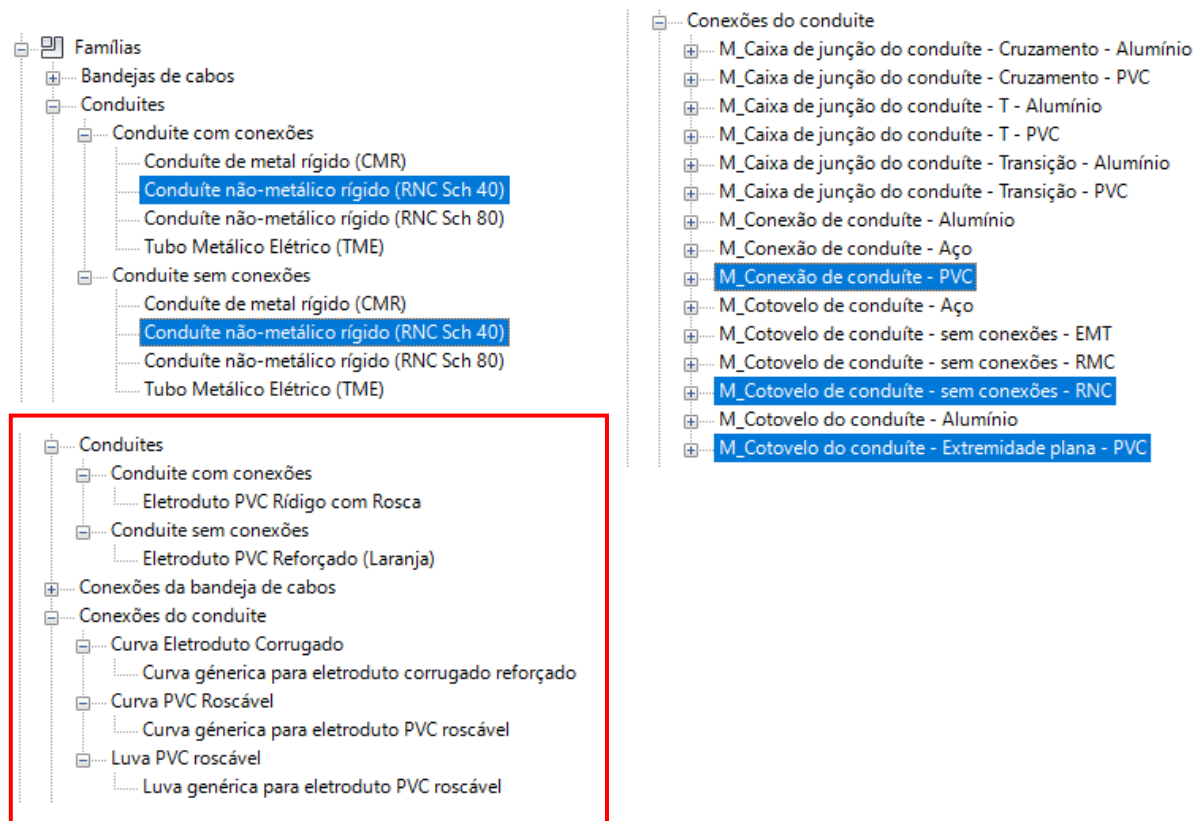
Figura 47 - Tela inicial do *template*.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

O próximo passo foi configurar o sistema de conduítes (eletrodutos), que por se tratar de uma família de sistema, não permite edição externa. Desta forma, conforme representado na Figura 48, foram selecionados dois tipos de conduítes para serem editados dentro do *template* e três tipos de conexões de conduíte, que diferente dos conduítes, permite edição externa. Para encontrar estas famílias basta expandir o conteúdo de “famílias” localizado no navegador de projetos. As famílias selecionadas foram renomeadas, e as demais excluídas, criando dois tipos de eletrodutos PVC e suas respectivas curvas e conexões: eletroduto PVC rígido com rosca e eletroduto de PVC reforçado laranja.

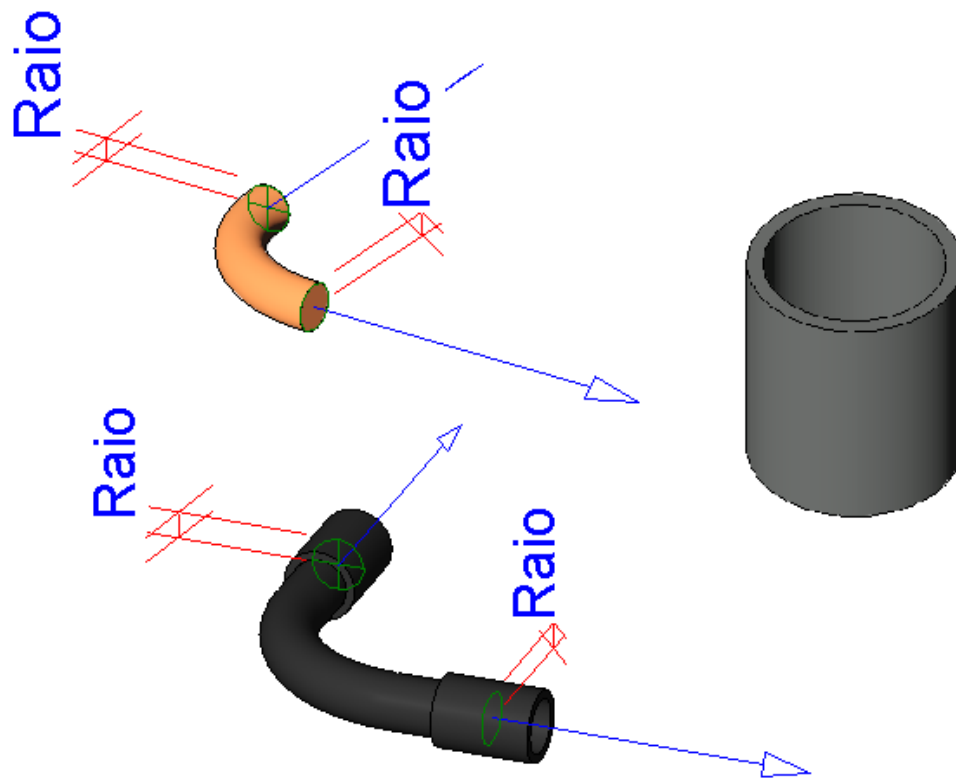
Figura 48 - Famílias selecionadas para o sistema de conduítes.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

As conexões dos conduítes foram editadas utilizando os conceitos de modelagem 3D já apresentados no texto, os cotovelos se tornaram curvas e a conexão se tornou uma luva, gerando os resultados que podem ser visualizados na Figura 49.

Figura 49 - Curvas e conexões dos conduites.

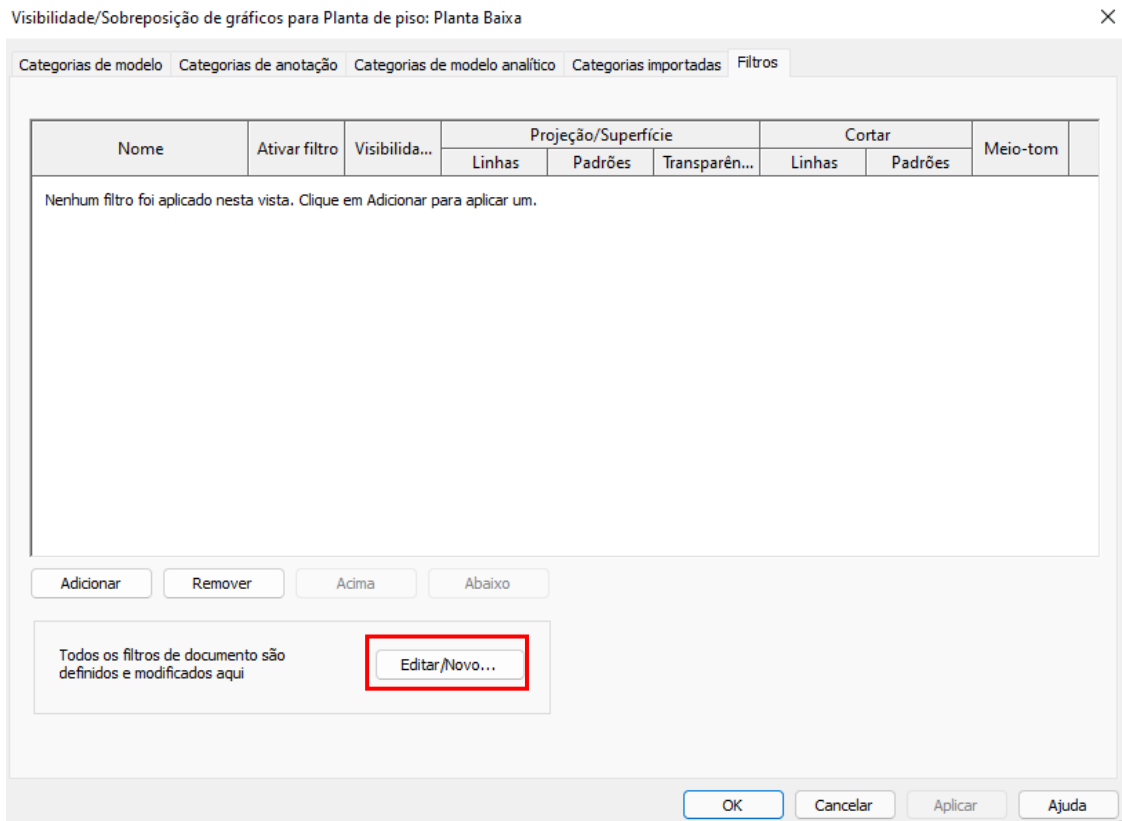


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

A família da luva PVC foi aninhada a família da curva PVC Roscável, desta forma, sempre que for criado um trecho de eletroduto que demande curva, a luva será adicionada automaticamente.

Embora os conduites não permitam edição externa, existem alguns artifícios para mudar sua coloração. Um dos métodos é através dos filtros de vista, ferramenta que pode ser acessada pelo atalho (VG) no teclado. Ao acessar a ferramenta, um novo filtro, Figura 50, pode ser criado clicando na opção “Editar/Novo”.

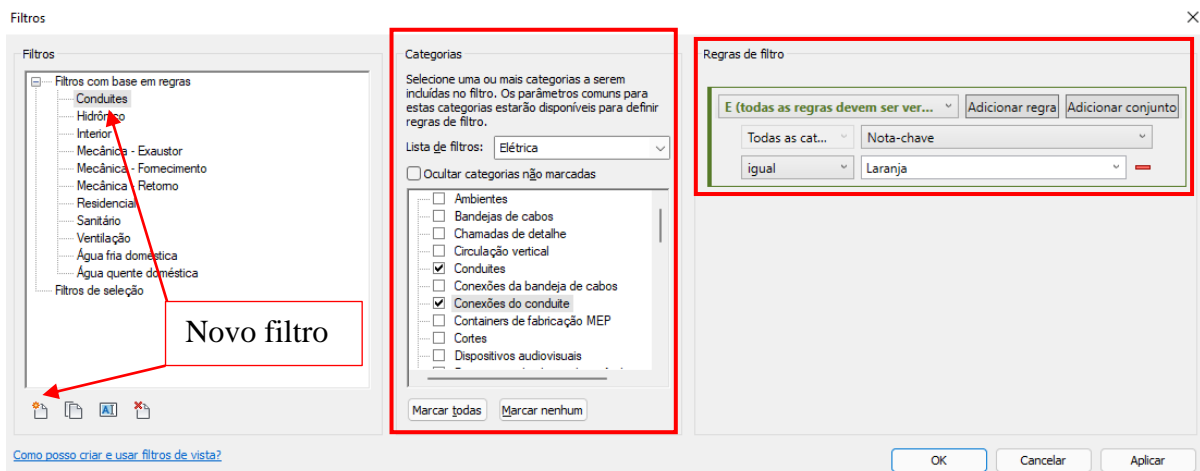
Figura 50 - Menu de filtros.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Na nova janela existe a opção de criar um novo filtro, Figura 51, e determinar suas regras, o primeiro filtro recebeu o nome de “conduítes” e foi atribuído à categoria conduítes e conexões de conduítes, além disso, recebeu como regra uma nota-chave com a palavra “laranja”.

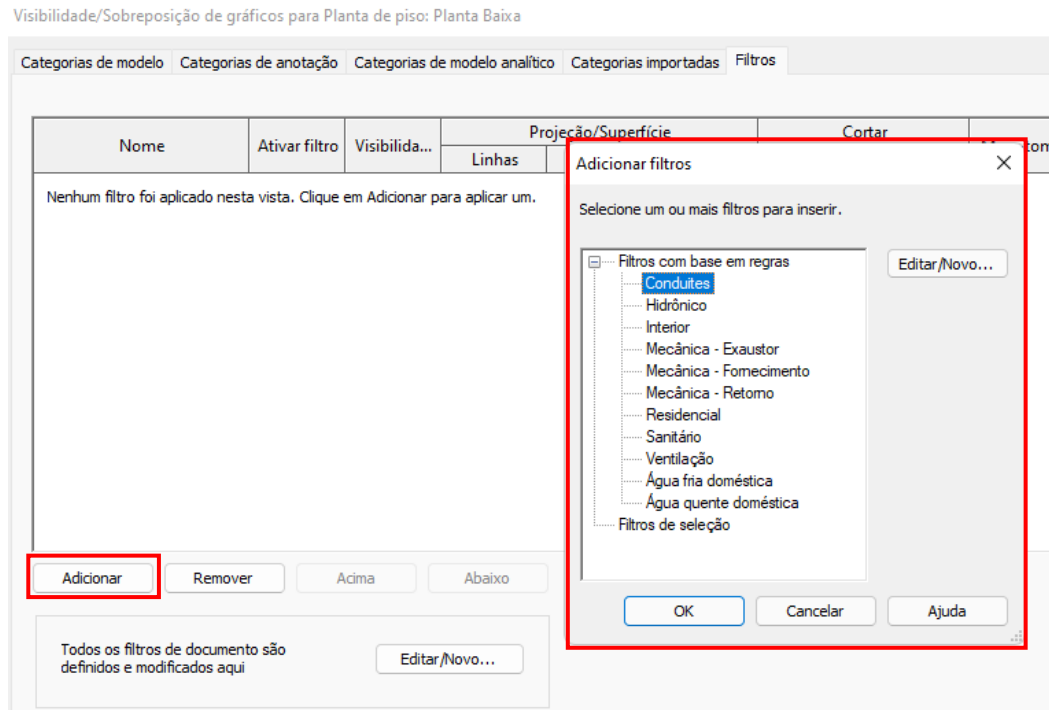
Figura 51 - Criação de filtros.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Após ser criado, o filtro deve ser adicionado, Figura 52, para que fique ativo na vista e receba a coloração desejada.

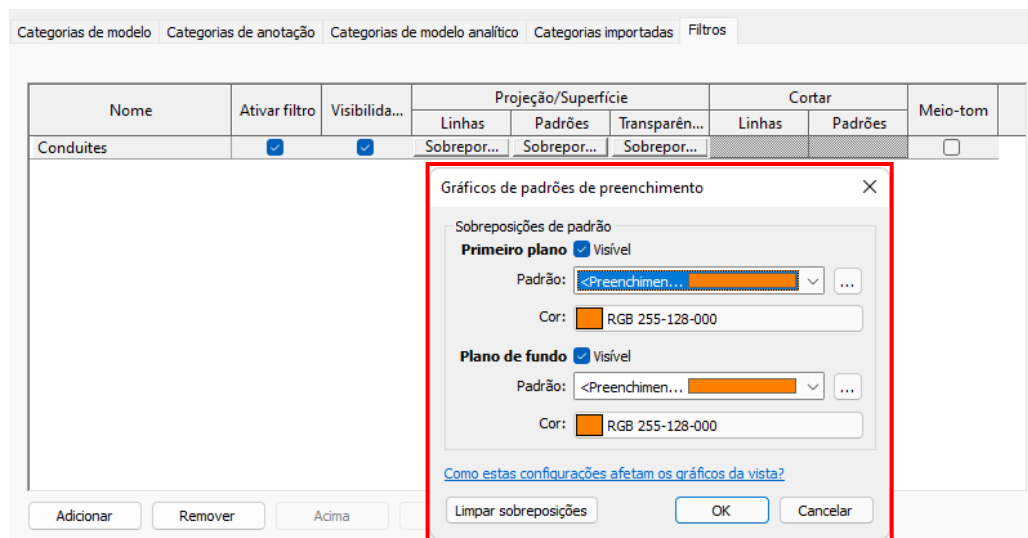
Figura 52 - Adição do filtro no menu.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Na coluna “Projeção/Superfície” o padrão de sobrepor foi substituído para preenchimento e atribuído a cor laranja, conforme exibido na Figura 53.

Figura 53 - Configuração de cor do filtro.

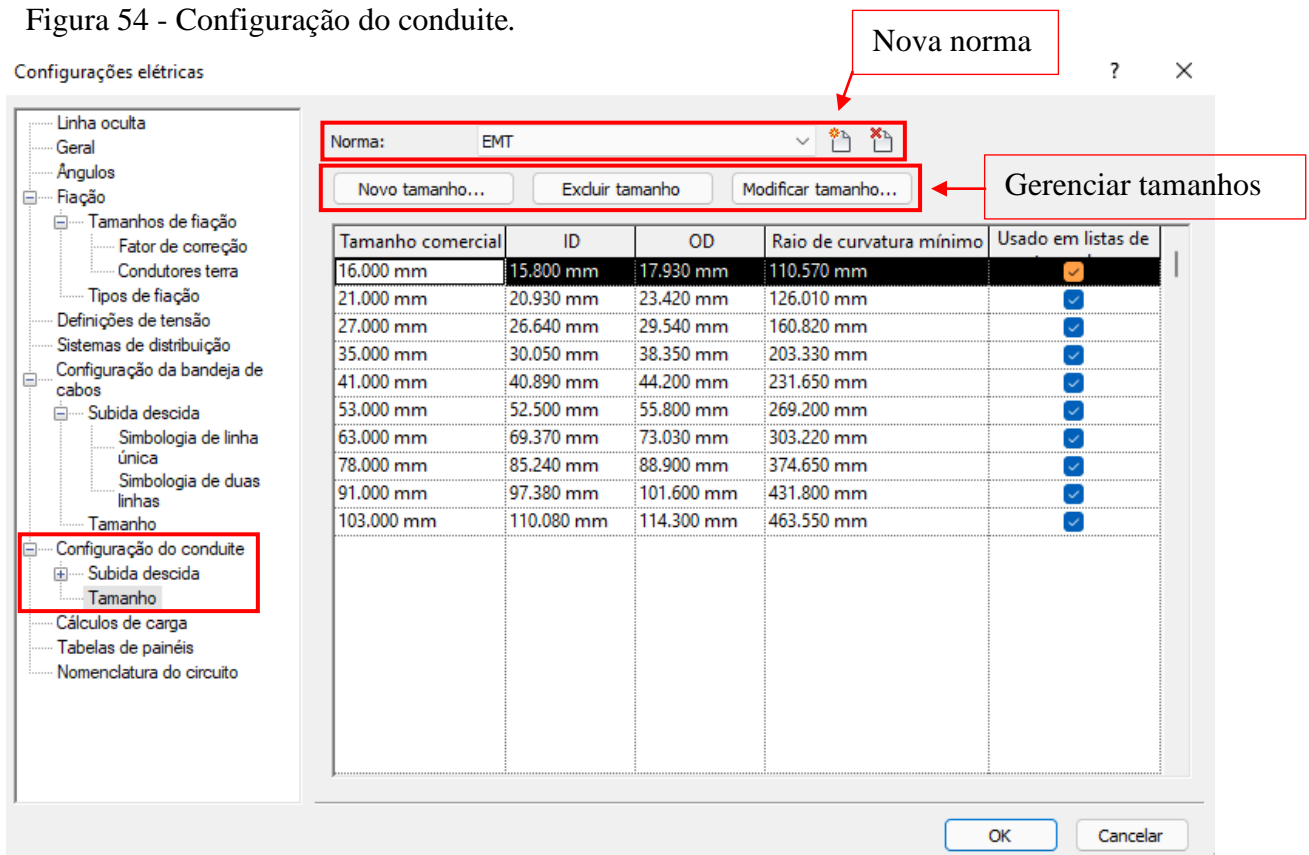


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

De maneira análoga, foi criado outro filtro com o nome “Conduíte Rígido”, que recebeu preenchimento em tom grafite. Por mais que o filtro atue sobre as conexões do conduíte, não é necessário aplicá-lo nas propriedades de tipo, pois suas cores já estão configuradas advindas do editor de famílias.

Outro ponto importante é configurar os tamanhos dos conduítes, Figura 54, o menu para estas configurações pode ser acessado pelo atalho (ES) do teclado. Na lista lateral existe a opção de tamanho, que leva as opções de norma. Para o *template* FV foram criadas duas novas normas baseadas na EMT: PVC Corrugado Reforçado e PVC Rígido Roscável. As regras restantes foram excluídas, assim como os tamanhos, para que possam ser criados do zero.

Figura 54 - Configuração do conduíte.



Fonte: Imagem de autoria própria, 2023.

Dentro das novas regras foram criados os tamanhos de 20, 25 e 32mm (Ø1/2”, Ø3/4” e Ø1”), os diâmetros interno e externo foram determinados conforme fichas técnicas apresentadas na Figura 55.

Figura 55 - Fichas técnicas para eletroduto corrugado e rígido de PVC.

Dimensões (mm)				REFERÊNCIA DA ROSCA	DIÂMETRO NOMINAL	DIÂMETRO INTERNO(Di)
Cotas	20	25	32	3/8"	16 mm	12,8 mm
DE	20	25	32	1/2"	20 mm	16,4 mm
Di	15,4	19	25	3/4"	25 mm	21,3 mm
e	2,3	3	3,5	1"	32 mm	27,5 mm
L	50.000	50.000	25.000	1.1/4"	40 mm	36,1 mm
				1.1/2"	50 mm	41,4 mm
				2"	60 mm	52,8 mm
				2.1/2"	75 mm	67,1 mm
				3"	85 mm	79,6 mm
				4"	110 mm	103,1 mm
				4.1/2"		

Fonte: (Tigre, 2015); (VOLTEN ENGENHARIA, 2018).

As normas ficaram configuradas conforme Figura 56.

Figura 56 - Configurações criadas para os conduites.

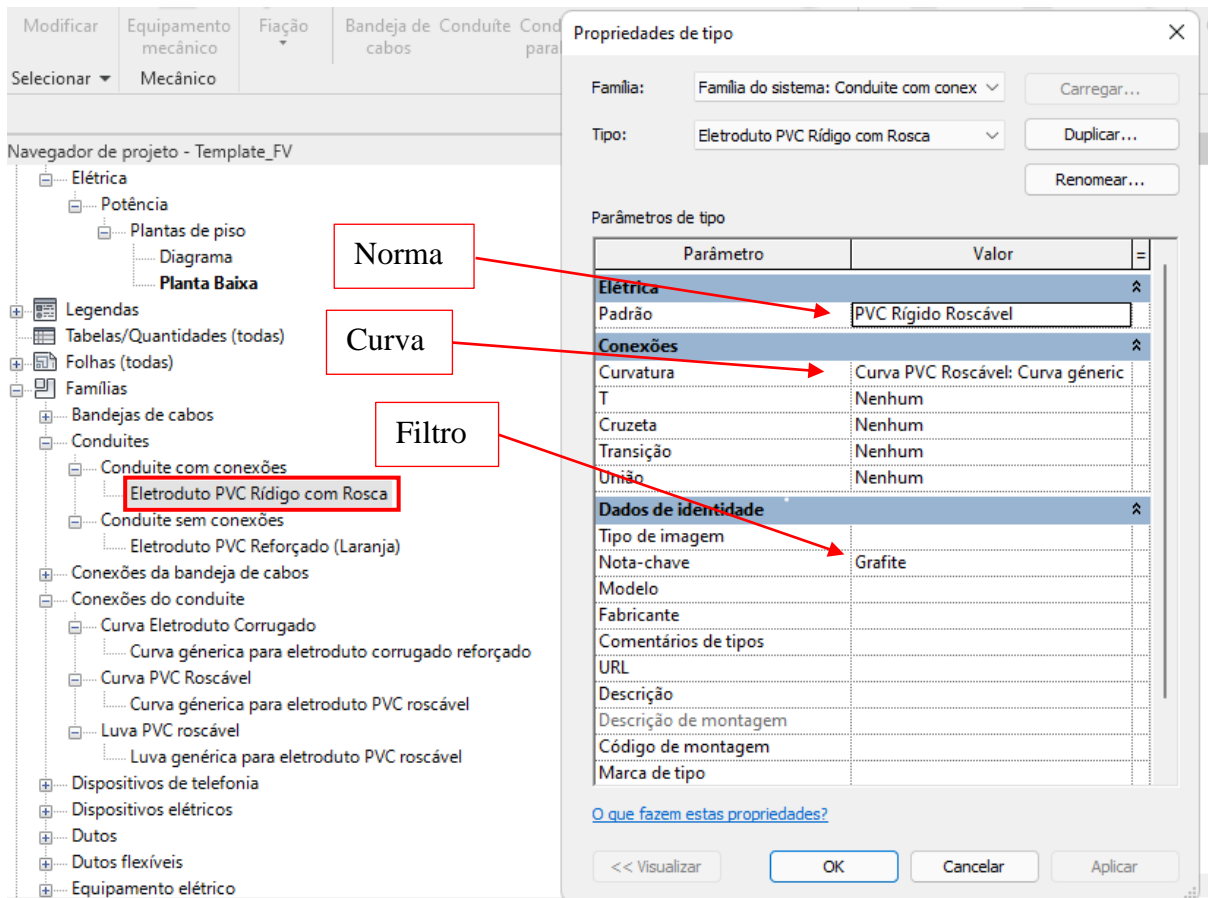
Norma: PVC Corrugado Reforçado				
Tamanho comercial	ID	OD	Raio de curvatura mínimo	Usado em listas de
20.000 mm	15.400 mm	20.000 mm	50.000 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
25.000 mm	19.000 mm	25.000 mm	60.000 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
32.000 mm	25.000 mm	32.000 mm	70.000 mm	<input checked="" type="checkbox"/>

Norma: PVC Rígido Roscável				
Tamanho comercial	ID	OD	Raio de curvatura mínimo	Usado em listas de
20.000 mm	16.400 mm	20.800 mm	50.000 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
25.000 mm	21.600 mm	26.000 mm	60.000 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
32.000 mm	27.500 mm	32.000 mm	70.000 mm	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Ao serem concluídas as normas e os filtros, estas configurações foram aplicadas aos dois tipos de eletrodutos, Figura 57. Estas propriedades podem ser acessadas clicando com o botão direito sobre cada tipo de eletroduto no navegador de projetos e acessando a opção “propriedades de tipo”.

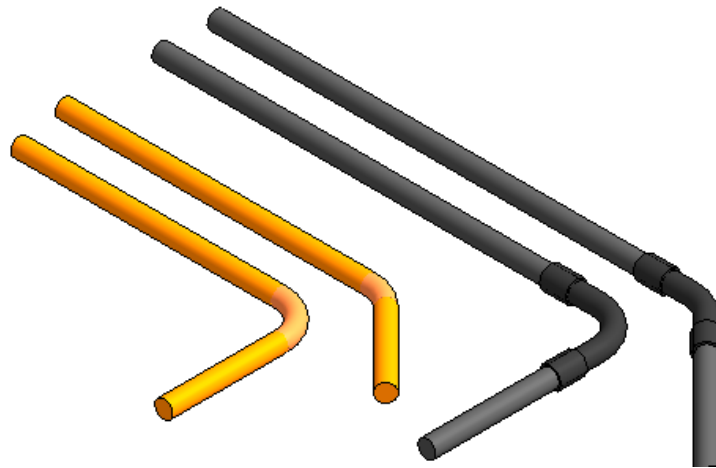
Figura 57 - Configuração final para o eletroduto PVC rígido com rosca.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

O mesmo procedimento foi realizado para o eletroduto PVC reforçado (laranja), incluindo sua norma “PVC Corrugado Reforçado”, curva genérica para eletroduto PVC Roscável e filtro laranja no campo “Nota-chave”. Os conduites ficaram disponíveis para utilização na aba “Sistemas”, opção “Conduites” e os resultados são vistos na Figura 58.

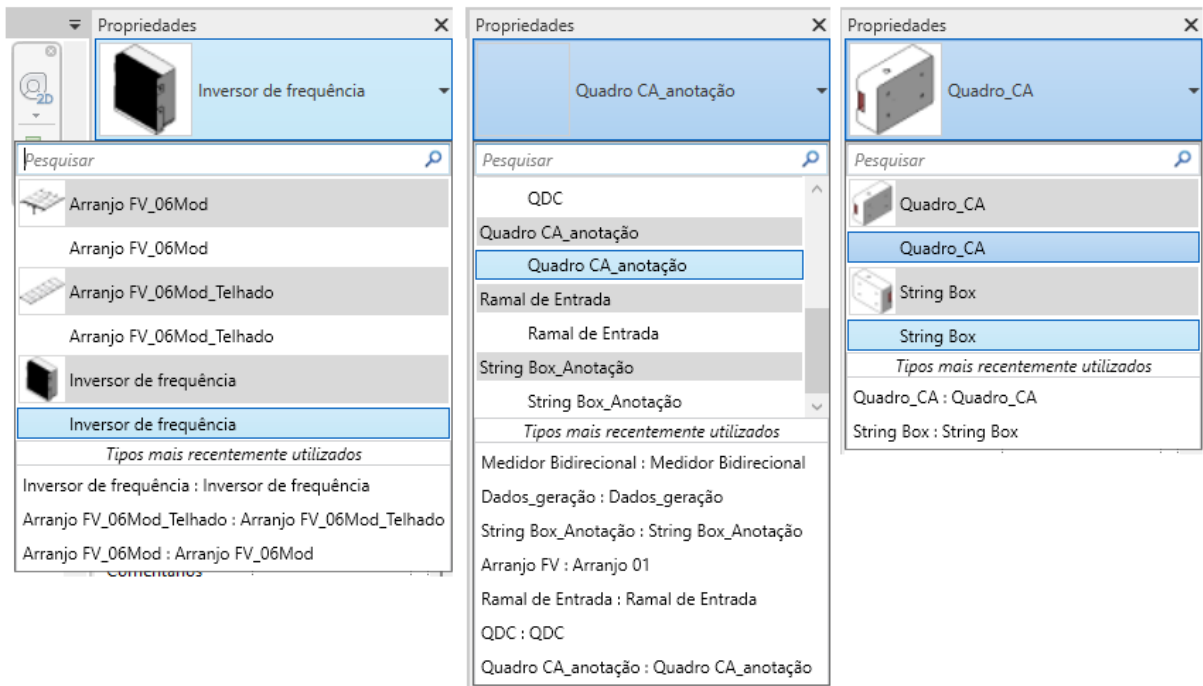
Figura 58 - Eletrodutos funcionando em ambiente de projeto.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

O próximo passo foi importar todas as famílias modeladas anteriormente para dentro do *template*. No ambiente de edição de famílias existe a opção de “Carregar no projeto” dentro da aba “Criar”, sendo assim, todas foram carregadas e ficaram disponíveis em seus grupos. Os arranjos FV e o inversor de frequência ficaram disponíveis no menu de sistemas em “Dispositivos elétrico”, a *string box* e o quadro CA em “Equipamento elétricos”, as famílias de anotação ficaram na aba “Anotar” em “Símbolos” e o modelo de folha fica disponível para criação no navegador de projetos em “Folhas”. Ao acessar cada um destes grupos é exibida uma lista no painel de propriedades do REVIT, permitindo selecionar a família desejada em cada etapa do projeto, Figura 59.

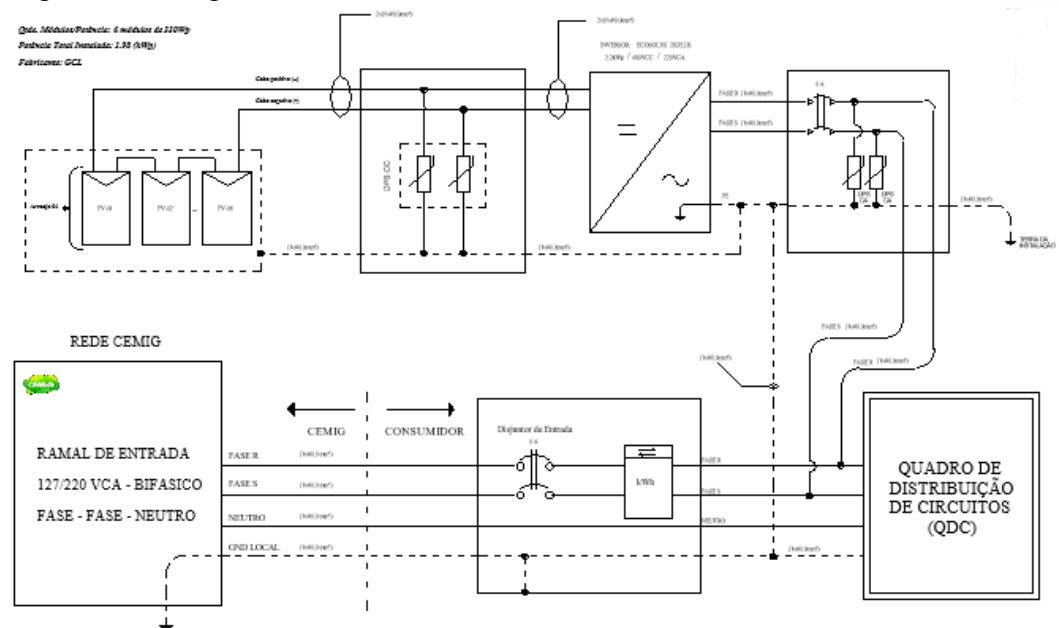
Figura 59 - Famílias disponíveis no *template*.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Na vista de Diagrama, Figura 60, os símbolos de anotação foram inseridos e organizados na área de trabalho do REVIT para compor o diagrama inteiro e deixar disponível para atualização das informações posteriormente.

Figura 60 - Diagrama montado.

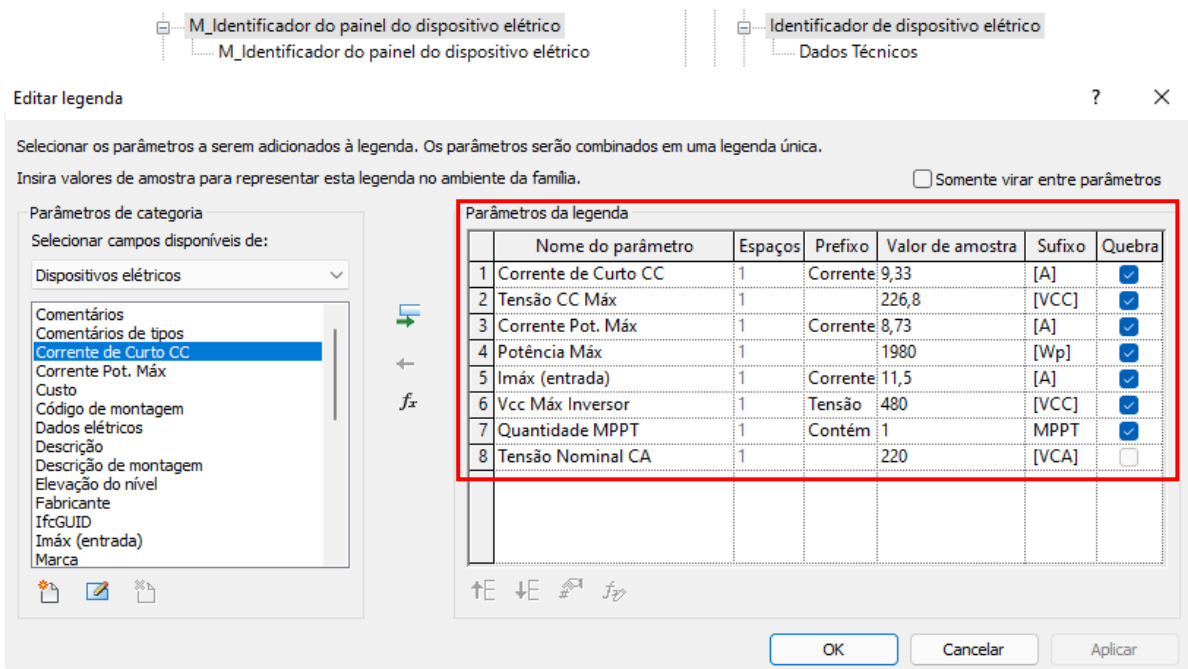


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Conforme demonstrado nos tópicos 3.1.2 e 3.1.3 deste trabalho de conclusão de curso, foram criados parâmetros compartilhados para os arranjos FV e o inversor de frequência. Para exibir as informações preenchidas por estes parâmetros foi criado um identificador de dispositivo elétrico a partir do identificar padrão do REVIT.

Ao explorar o conteúdo de famílias no navegador de projetos foi possível localizar dentro do grupo de símbolos de anotação um identificador denominado “M_Identificador do painel do dispositivo elétrico” que foi submetido a edição de famílias. Esta anotação funciona como legenda, e nesta legenda foram inseridos alguns parâmetros compartilhados referentes aos arranjos FV e ao inversor, além de prefixos e sufixos para complementar o identificador. Após ser editado, o identificador foi renomeado, de acordo com o ilustrado na Figura 61.

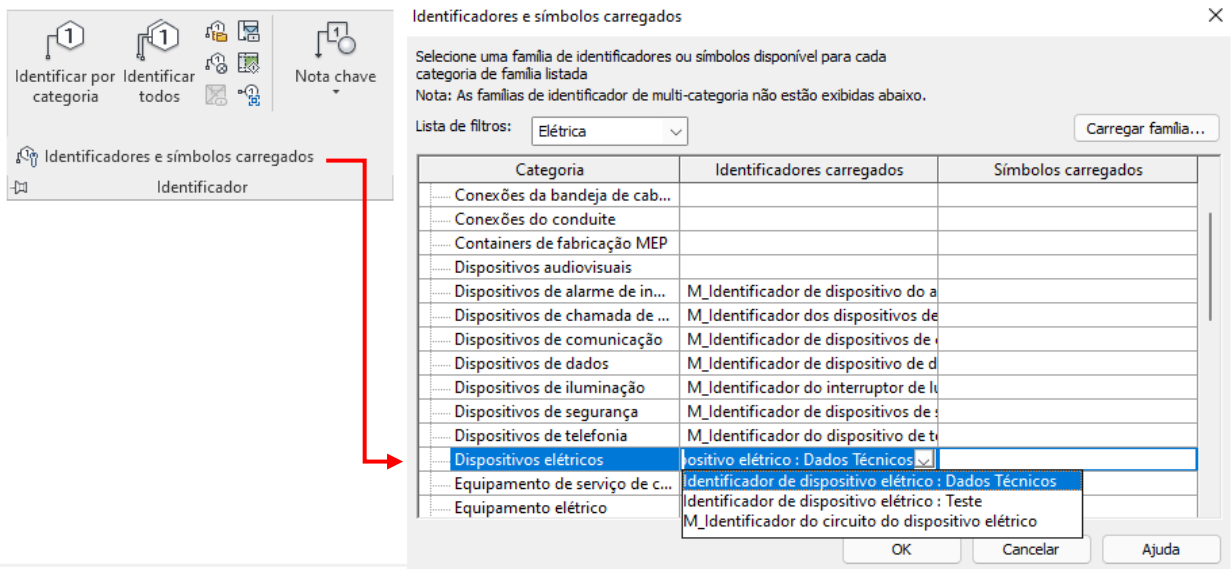
Figura 61 - Edição do identificador de dispositivo elétrico.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Para ativar o identificador foi preciso acessar o menu de “Identificadores e símbolos carregados” que fica disponível na aba “Anotar”. Dentro deste menu basta localizar “Dispositivos elétricos” e selecionar o identificador criado, Figura 62.

Figura 62 - Edição do identificador de dispositivo elétrico.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Seguindo nas configurações do *template*, foram gerenciados os modelos de vista, responsáveis por determinar as propriedades de cada vista aplicada ao projeto, como nível de detalhes e escala. O *template* do REVIT tem como padrão 16 modelos de vista, que foram reduzidos a 2 modelos básicos. A vista “Planta arquitetônica” foi renomeada para “Projeto Elétrico 3D” e a vista “Planta Elétrica” foi renomeada para “Projeto Elétrico 2D”.

Configurações “Projeto Elétrico 2D”:

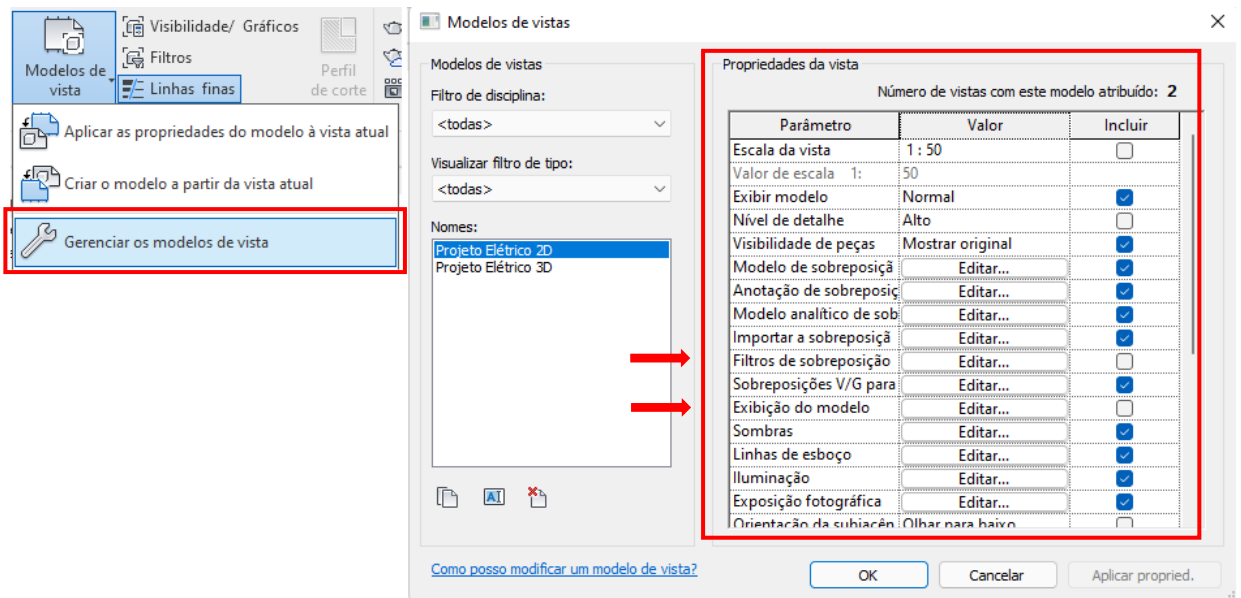
- Nas propriedades da vista foram desmarcadas as opções: escala da vista, nível de detalhe, filtros de sobreposição e exibição de modelo;
- No parâmetro filtros de sobreposição foram adicionados os filtros “Conduites” e “Conduite Rígido” criados anteriormente;
- No parâmetro exibição de modelo foi aplicado o estilo “Linha oculta”.

Configurações “Projeto Elétrico 3D”:

- Nas propriedades da vista foram desmarcadas as opções: nível de detalhe e exibição de modelo;
- No parâmetro filtros de sobreposição foram adicionados os filtros “Conduites” e “Conduite Rígido” criados anteriormente;
- No parâmetro exibição de modelo foi aplicado o estilo “Realista”.

O gerenciador de modelos de vista é encontrado na aba “Vista” opção “Modelos de vista”, apresentado na Figura 63.

Figura 63 - Gerenciador dos modelos de vista.

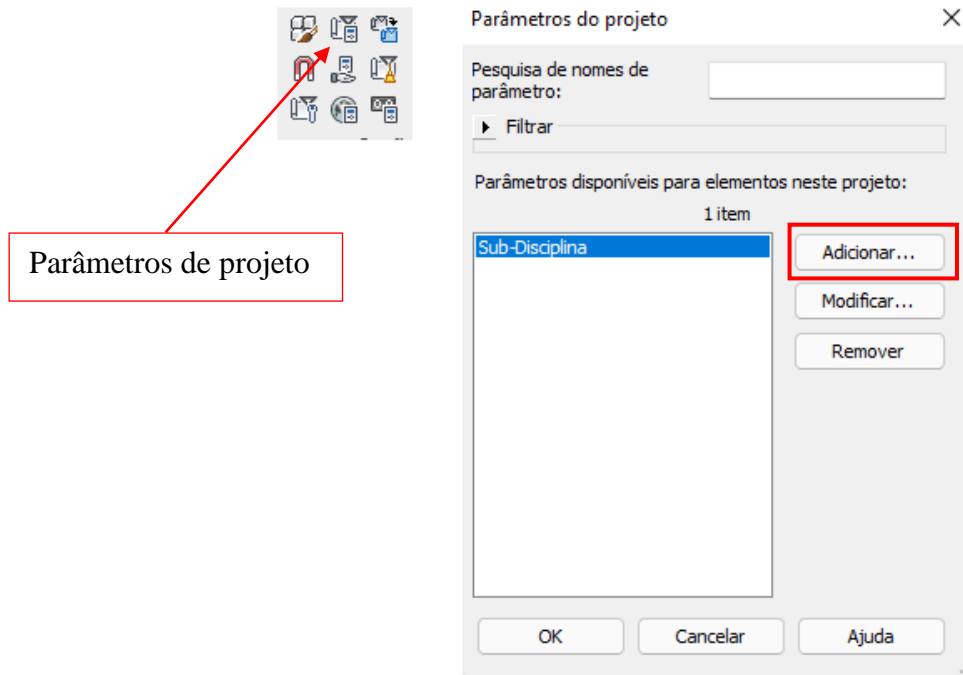


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Em seguida foram configurados os parâmetros de projeto, isto é, informar para o REVIT como lidar com algumas informações advindas das famílias carregáveis ou criadas dentro do *template*. Os parâmetros que necessitam de tratamento nesta etapa são aqueles que foram vinculados ao carimbo da folha, vistos na Figura 40 deste documento.

O menu de configuração dos parâmetros de projeto encontra-se na aba “Gerenciar” conforme ícone destacado na Figura 64. Dentro do menu existe a opção de “Adicionar”, onde foram inseridos todos os parâmetros compartilhados pertencentes ao grupo “Margens e carimbo”.

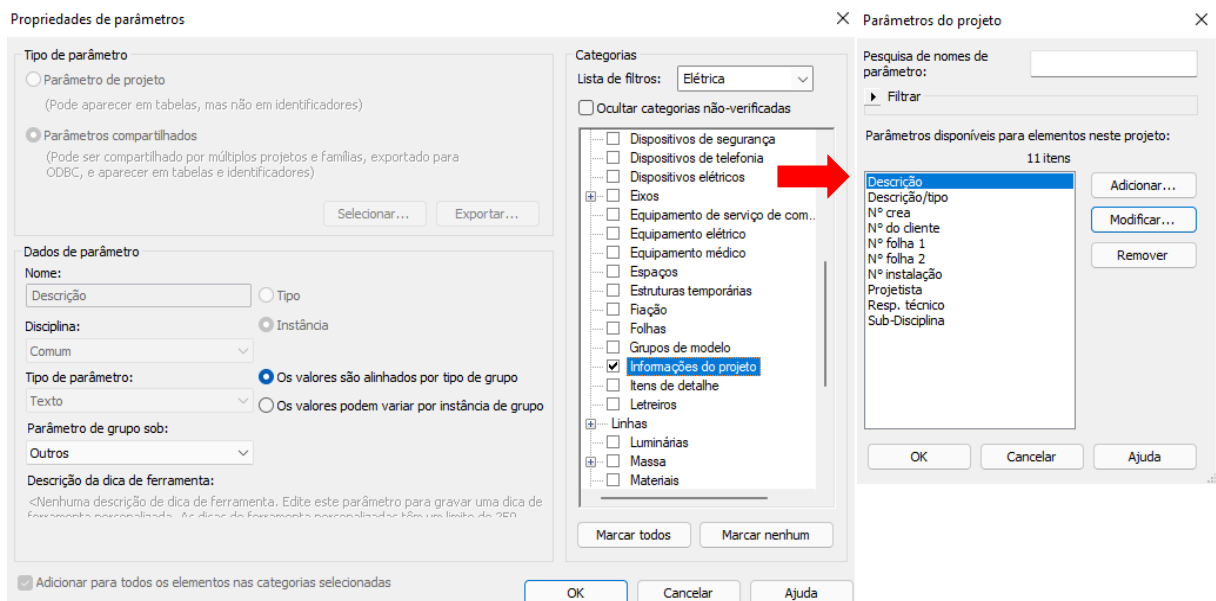
Figura 64 - Menu de parâmetros de projeto.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Os parâmetros foram colocados na disciplina “Comum” com tipo “Texto”, agrupados em “Texto” e destinados a categoria “Informações de projeto”, conforme apresentado na Figura 65.

Figura 65 - Adicionando parâmetro de projeto a uma categoria.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Este processo é importante para que o preenchimento das informações no carimbo da folha funcione corretamente na etapa de montagem das pranchas.

Por fim, foi criada uma legenda dentro do *template* para complementar em detalhes a documentação do projeto. As legendas de *template* ficam localizadas no navegador de projetos, e para criar uma nova basta clicar com o botão direito em “Nova legenda”. O REVIT irá solicitar o nome da legenda e sua escala, dentro da edição de legendas existem várias opções, como inserir imagens, textos e pdf’s, neste sentido, foi criada uma legenda com nome “Nota técnica CEMIG”, ilustrada na Figura 66, para alertar sobre o risco de choque elétrico devido a geração própria (CEMIG, 2020).

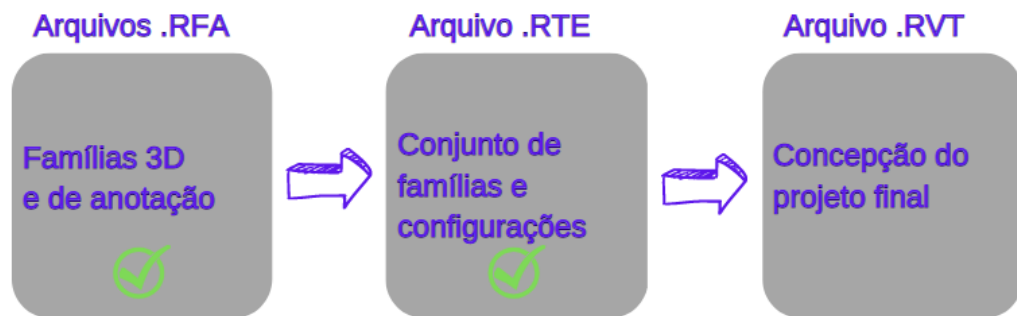
Figura 66 - Nota técnica CEMIG.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023); (CEMIG, 2020).

Diante de todas as configurações prontas, mais uma etapa essencial para o desenvolvimento de um projeto FV no REVIT foi concluída e pode ser visualizada no fluxograma de desenvolvimento, Figura 67.

Figura 67 - Status de desenvolvimento.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Vale ressaltar ainda que o REVIT possui sistemas de distribuição e níveis de tensão que automatizam diversos processos em projetos elétricos, no entanto, esta interface do programa foi projetada para funcionar em níveis de tensão comerciais (127, 220, 380 Volts), ou seja, sistemas de corrente alternada baseados entre fase, neutro e terra (monofásico, bifásico e trifásico). Esta funcionalidade foi descartada, pois em um sistema FV existe conversão de energia CC/CA e o REVIT não possui suporte para fazer essa diferenciação em diversos níveis de tensão e corrente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as configurações, o *template* tornou-se apto para ser utilizado na confecção de projetos FV através do REVIT. Para verificar sua eficácia, realizou-se um projeto FV embasado nas ferramentas desenvolvidas ao longo deste trabalho de conclusão de curso. Este projeto foi realizado com base no pré-dimensionamento simulado para uma usina FV, descrito ao longo do tópico 3.1 deste documento. Além disso, utilizou-se o projeto arquitetônico cedido pelo Projeto de Extensão “REVIT para Projetos de Instalações Elétricas” ofertado pelo Grupo de Pesquisa GSE e IFMG – Campus Formiga.

4.1 Montagem da usina

O primeiro passo para realizar um projeto em REVIT da usina FV, foi determinar a posição de cada elemento. Para evitar a passagem de eletrodutos enterrados no solo e também otimizar o espaço requerido pela estrutura, o arranjo FV foi disposto no telhado, Figura 68. Os demais elementos foram posicionados de maneira aparente na área de serviço, por se tratar de um ambiente mais externo e coberto.

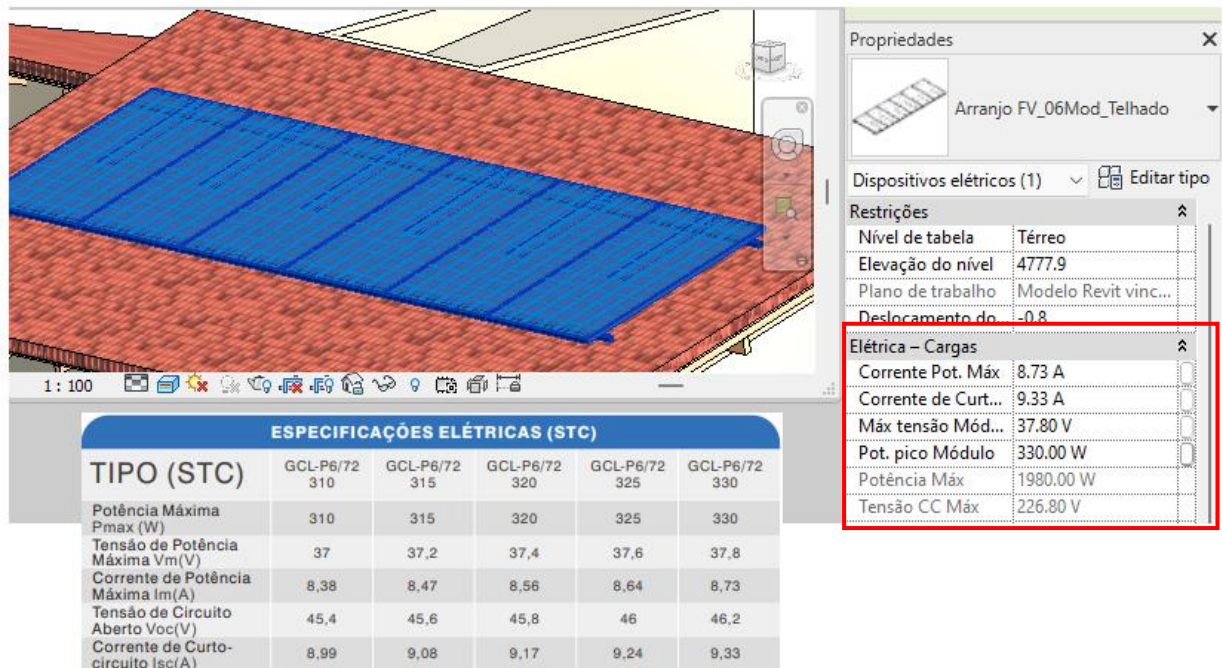
Figura 68 - Status de desenvolvimento.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Com os elementos posicionados, foi possível inserir as informações elétricas ao arranjo FV, ilustradas na Figura 69, e ao inversor de frequência, Figura 70. Os campos para preenchimento ficaram disponíveis no painel de propriedades conforme os parâmetros compartilhados criados anteriormente. Estes dados foram inseridos conforme ficha técnica da GLC e ecoSolys, já mencionadas anteriormente.

Figura 69 - Propriedades do arranjo FV em ambiente de trabalho.



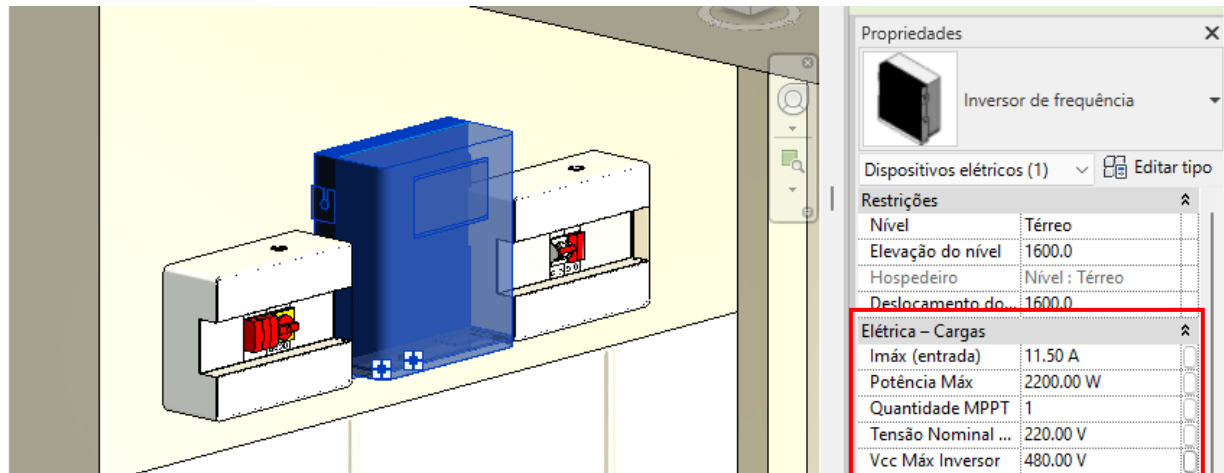
The screenshot displays a 3D model of a solar panel array on a red-tiled roof. The properties panel on the right shows the following data:

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS (STC)					
TIPO (STC)	GCL-P6/72 310	GCL-P6/72 315	GCL-P6/72 320	GCL-P6/72 325	GCL-P6/72 330
Potência Máxima P _{max} (W)	310	315	320	325	330
Tensão de Potência Máxima V _m (V)	37	37,2	37,4	37,6	37,8
Corrente de Potência Máxima I _m (A)	8,38	8,47	8,56	8,64	8,73
Tensão de Circuito Aberto Voc(V)	45,4	45,6	45,8	46	46,2
Corrente de Curto-circuito I _{sc} (A)	8,99	9,08	9,17	9,24	9,33

Elétrica - Cargas	
Corrente Pot. Máx	8.73 A
Corrente de Curt...	9.33 A
Máx tensão Mód...	37.80 V
Pot. pico Módulo	330.00 W
Potência Máx	1980.00 W
Tensão CC Máx	226.80 V

Fonte: Imagem de autoria própria (2023); (GCL-P6/72, [s.d.]).

Figura 70 - Propriedades do inversor de frequência em ambiente de trabalho.

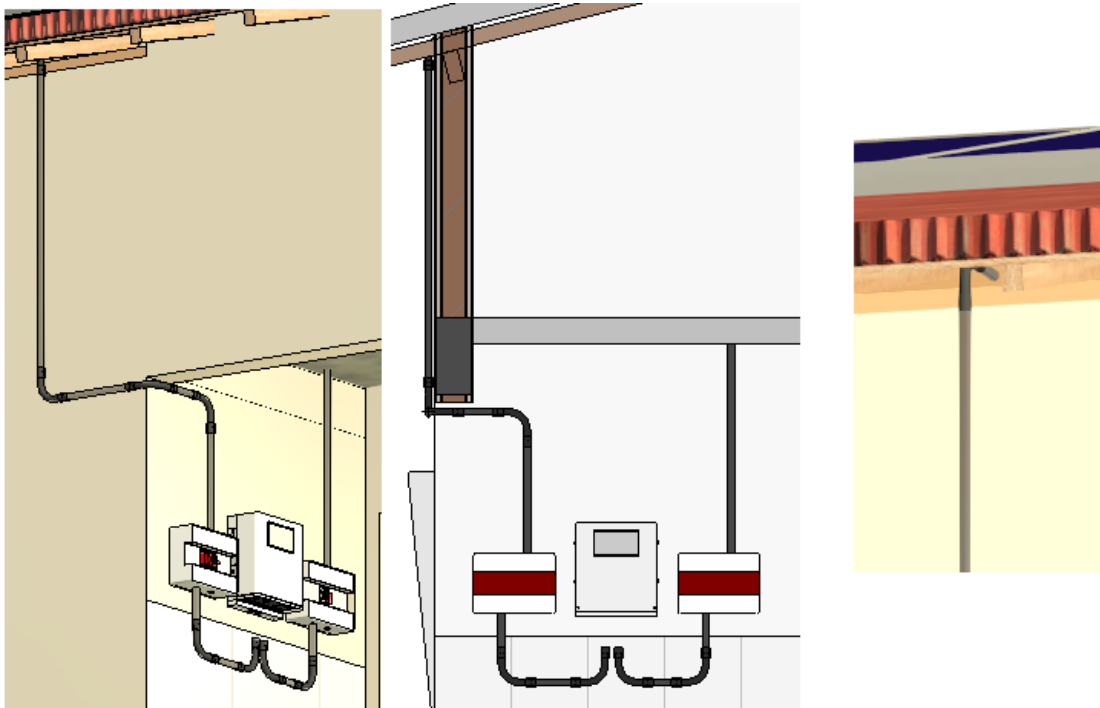


Máxima tensão CC 480 V Máxima potência CA 2.200 W
 Corrente CC máxima 11,5 A Tensão nominal de saída 220 V
 Quantidade de MPPT 1

Fonte: Imagem de autoria própria (2023); (Ecos 2K Plus - ecoSolys, 2022).

O próximo passo foi construir as rotas de eletrodutos, Figura 71, como a maioria dos elementos elétricos são instalados de maneira aparente foi conveniente utilizar o eletroduto de PVC rígido de Ø3/4”.

Figura 71 - Rotas de conduites.



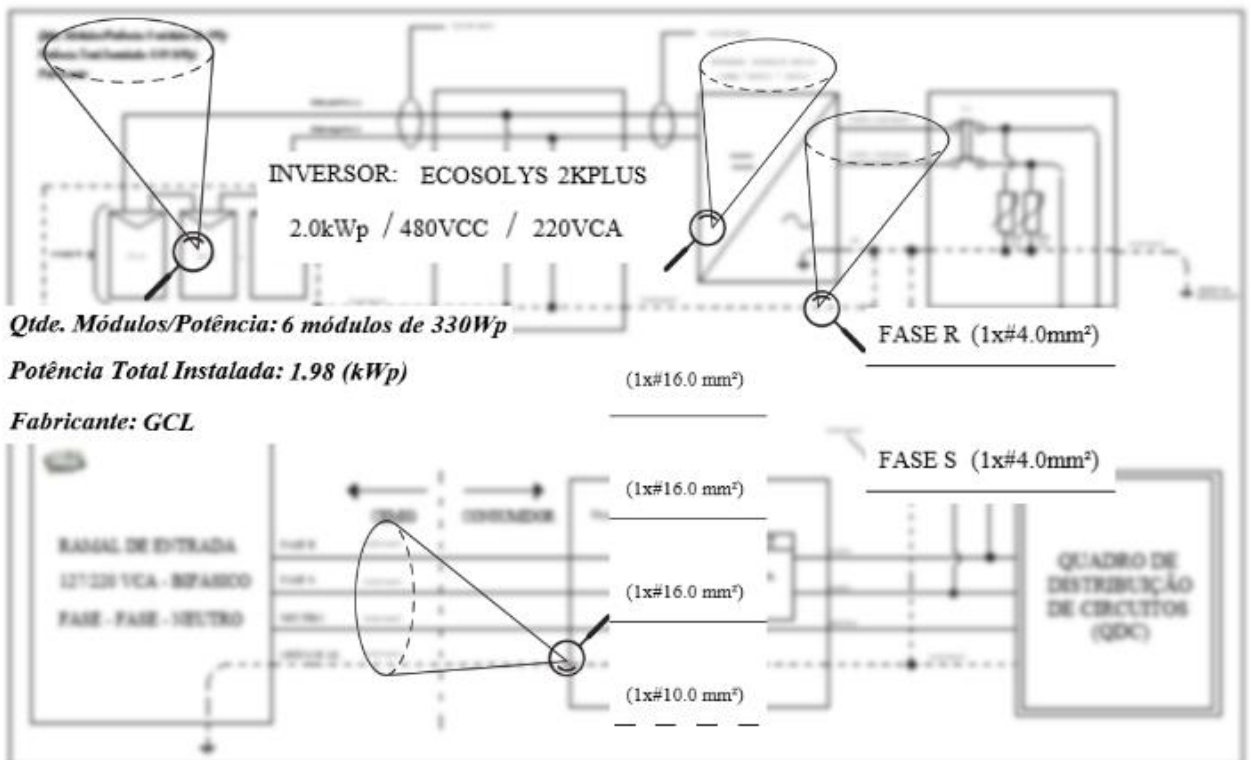
Fonte: Imagem de autoria própria, 2023.

Basicamente, um trecho de eletroduto segue por baixo da água do telhado até o arranjo FV onde são feitas as conexões entre os módulos. Este mesmo trecho desce até a *string box* que faz a proteção do sistema CC e entrega o cabeamento para o inversor de frequência realizar a conversão CC/CA. Um novo trecho leva os cabos até o quadro de proteção CA, onde finalmente o último trecho segue para o QDC da residência. Foi previsto um espaço entre a infraestrutura de eletrodutos e o inversor para que as conexões possam ser feitas.

4.2 Diagrama unifilar

Com a usina devidamente projetada, o próximo passo é completar as informações do diagrama unifilar. Todos os campos de legenda disponíveis para bitola de cabos, fabricantes, potências e corrente dos disjuntores foram devidamente preenchidos. A Figura 72 retrata detalhes de algumas legendas preenchidas.

Figura 72 - Detalhe das legendas no diagrama unifilar.



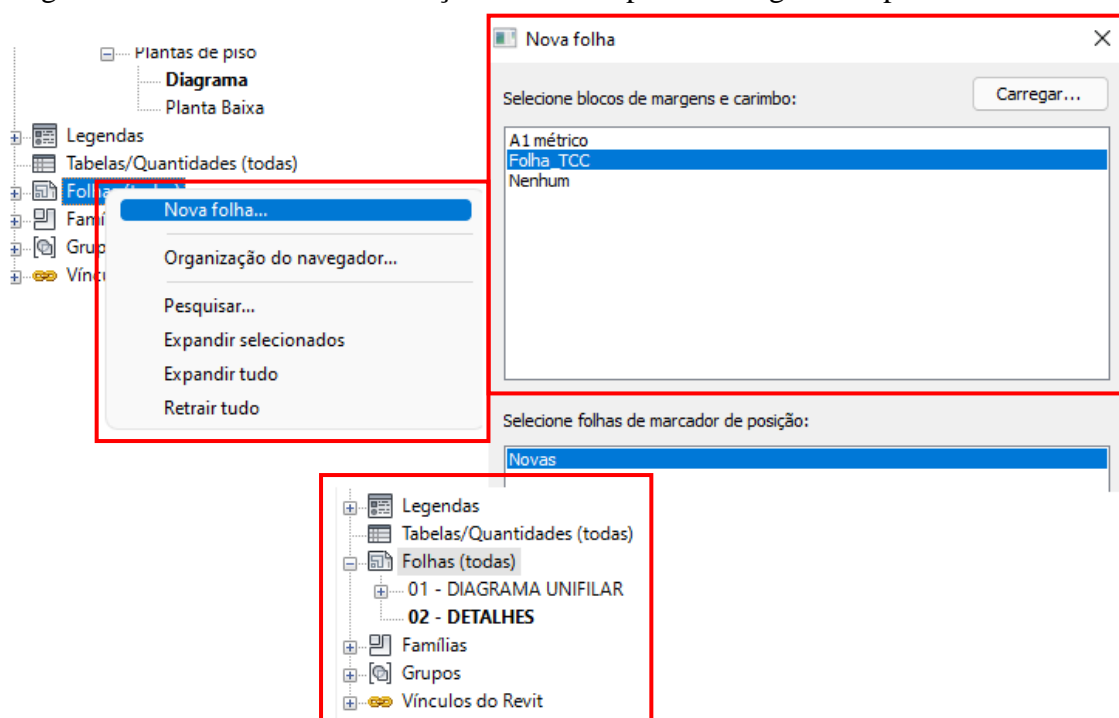
Fonte: Imagem de autoria própria, 2023.

4.3 Montagem das pranchas

O último passo da confecção de um projeto FV é a montagem das pranchas, onde é importante mostrar cada detalhe para que o projeto seja bem executado. No caso da usina FV de exemplo foram confeccionadas duas pranchas, uma para o diagrama unifilar e outra contendo detalhes em vistas 3D.

É possível criar uma nova folha, Figura 73, com o tipo modelado anteriormente clicando com o botão direito no ícone de “Folhas”. As folhas foram renomeadas de acordo com o conteúdo que cada uma entrega.

Figura 73 - Procedimento de criação das folhas para montagem das pranchas.

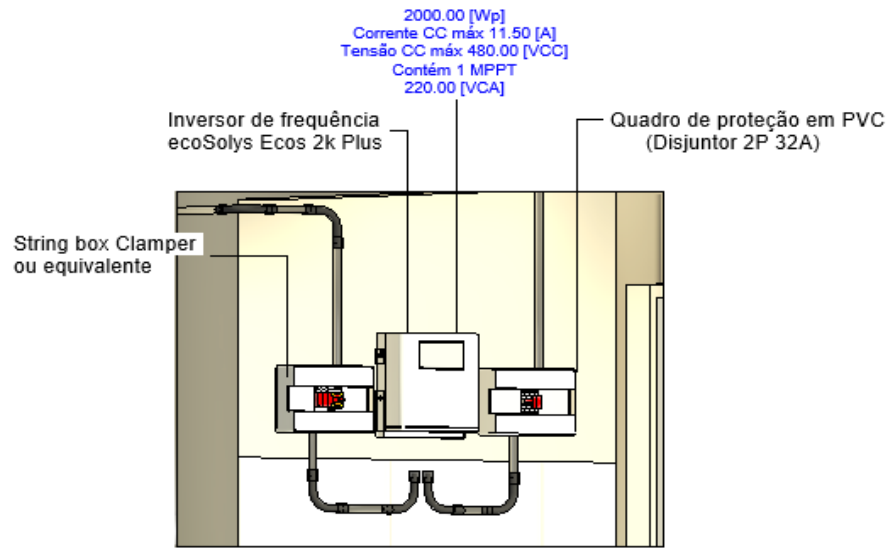


Fonte: Imagem de autoria própria, 2023.

Para inserir as vistas, notas e demais detalhes à prancha basta clicar e arrastar os itens do navegador de projetos até a região em branco da folha criada. Todos os conteúdos arrastados serão alocados em uma *viewport*, podem ser editados, movidos e ter sua escala modificada.

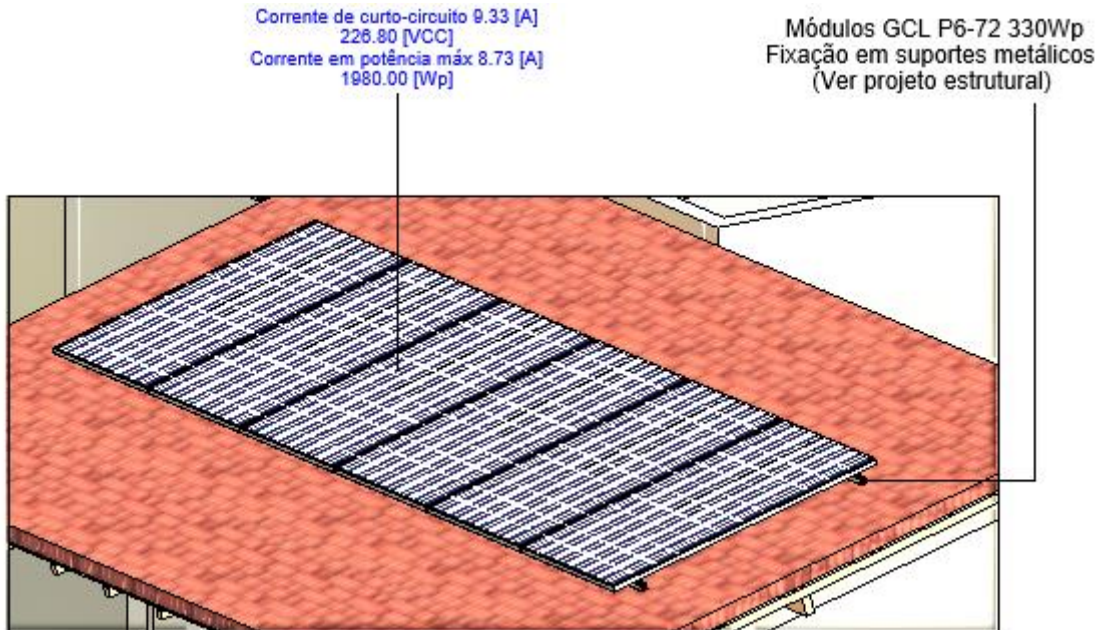
Os detalhes que compõem a segunda prancha são vistos nas Figuras 74, 75 e 76.

Figura 74 - Detalhe 3D parede.



Fonte: Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 75 - Detalhe 3D telhado.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 76 - Detalhe 3D geral (imagem renderizada).

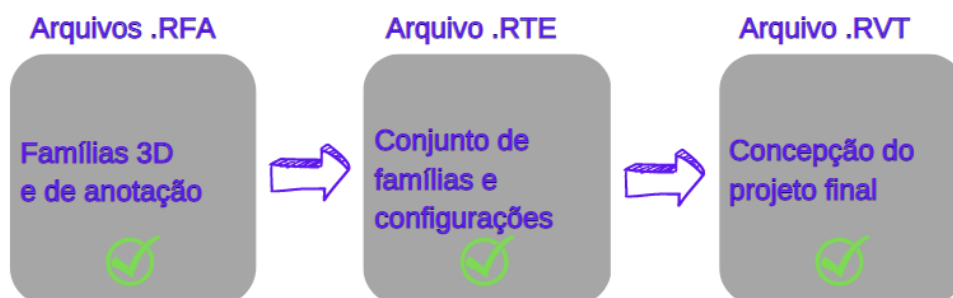


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Além das vistas 3D e diagrama unifilar, também foi inserida a nota técnica da CEMIG, salientada na Figura 66.

Com isso, todas as etapas de desenvolvimento de um projeto FV no REVIT foram concretizadas, a montagem das pranchas implica na finalização do trabalho dentro arquivo. RVT (arquivo de projeto), conforme pode-se acompanhar na Figura 77.

Figura 77 - Status de desenvolvimento concluído.



Fonte: Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possibilitou entender como ocorre o processo de modelagem, parametrização e utilização de famílias do REVIT em projetos de Engenharia Elétrica. Por se tratar de um *software* de projetos BIM, o REVIT se enquadra na “Estratégia BIM BR”, ação realizada pelo Governo Federal via Decreto nº 9377 de 17 de maio de 2018. Entre outros pontos, esta estratégia prevê a utilização da tecnologia em obras públicas e busca incentivar o crescimento do mercado público e privado no setor de projetos. Por ter sido desenvolvido inicialmente para a área da construção civil, o *Building Information Modeling* ainda não possui grande visibilidade dentro da engenharia elétrica em geral, ou seja, faltam materiais práticos e teóricos.

Portanto, o presente trabalho de conclusão de curso contribuiu como alternativa a falta de conteúdo BIM para as disciplinas de elétrica, baseando-se na geração de energia fotovoltaica, um dos setores que mais cresce no Brasil. O objetivo era confeccionar em formato de famílias do REVIT os principais dispositivos elétricos e elementos necessários para desenvolver o projeto de uma usina solar FV de pequeno porte e posteriormente sintetizar estas famílias em um *template* (modelo de projeto) para utilização prática. Este objetivo foi concluído com sucesso, o *template* final conta arranjos de 6 módulos solares fixados em estruturas para serem alocadas em terreno e telhado, um modelo de inversor de frequência, *string box* e quadro de proteção CA, além de dois tipos de eletrodutos, vista pré-configurada para diagrama unifilar, nota técnica da concessionária e modelo de folha personalizada para montagem da prancha.

Para se atingir uma compreensão dessa realidade, definiu-se 5 objetivos específicos, o primeiro, de realizar toda a modelagem 2D e 3D, o segundo, de parametrizar as famílias, o terceiro, de testar a hospedagem em projetos arquitetônicos, o quarto, de realizar toda configuração do *template*, e o quinto, de testar na prática todas as funcionalidades em ambiente de projeto. Os processos de teste de hospedagem e funcionalidade geral foram realizados junto ao vínculo arquitetônico cedido pelo Projeto de Extensão “REVIT para Projetos de Instalações Elétricas do” do IFMG – Campus Formiga, e foi de suma importância para visualizar os resultados em outro projeto modelado em REVIT, reforçando a compatibilidade entre disciplinas e interoperabilidade do BIM. Como não foram identificados trabalhos acadêmicos que tratem de maneira clara os objetivos citados, as demandas de operação em *software* foram alcançadas através da metodologia *Learn by Doing*, do inglês “Aprender fazendo”, isto é, o aprendizado no REVIT foi gradativo, através de tentativas e erros, até que os objetivos fossem

concluídos com êxito.

A elaboração de um projeto FV no REVIT se mostrou eficiente, pois, uma vez que o ambiente de trabalho foi configurado, todas as ações fluem de maneira dinâmica e prática. O preenchimento de informações elétricas é simples e pode ser visualizado automaticamente com ferramentas de identificadores. O editor de famílias é intuitivo caso o projeto necessite de alterações pontuais, principalmente em famílias de anotações 2D. A grande vantagem fica por parte da interface gráfica 3D, onde é possível visualizar a usina em perspectiva real, como por exemplo, as rotas de eletrodutos, *design* dos equipamentos e a região de instalação dos dispositivos. Mesmo que o projeto não possua vínculo arquitetônico disponível, o *template* é funcional para projetos somente em planta baixa e/ou diagrama unifilar, ainda que os elementos possam ser representados em vista 3D, onde ficariam “flutuando”.

Em contrapartida, por se tratar de uma abordagem tecnológica recente, faltam profissionais habilitados para operar no REVIT, seja desenvolvendo novos *templates* ou projetando os sistemas FV no *software*. Porém, é razoável pensar que este bloqueio de entrada no mercado tende a diminuir, muito pelo fato do incentivo do Governo junto a “Estratégia BIM BR”, que prevê até mesmo obrigatoriedade do BIM em determinados segmentos de engenharia.

Por se tratar de ferramentas um pouco mais avançadas, este trabalho de conclusão de curso não abordou o processo de quantitativos do REVIT, como levantamento automático de cabeamentos elétricos, eletrodutos e materiais.

Portanto, fica como sugestão para pesquisas futuras a implementação de quantitativos automáticos e criação de novas famílias de módulos solares, inversores de frequência e demais elementos que possibilitem o projeto de usinas FV diversas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AATB, I. **STECK. E tudo se liga!** Disponível em: <https://www.steck.com.br/>. Acesso em: 1 mar. 2023.

BADRA, M. **Importância da estrutura de fixação no sistema fotovoltaico.** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/importancia-da-estrutura-de-fixacao-no-sistema-fotovoltaico/#:~:text=Vemos%20a%20estrutura%20do%20sistema,em%20boas%20condi%C3%A7%C3%B5es%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 28 fev. 2023.

CAMPESTRINI, T. **Entendendo BIM.** UFPR, 2015. Disponível em: http://www.gpsustentavel.ufba.br/documentos/livro_entendendo_bim.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

CETTI. **Trilho DIN 35 mm em Aço Perfurado Barra de 2 Metros.** Disponível em: <https://www.cetti.com.br/trilho-din-35-mm-em-aco-perfurado-barra-de-2-metros>. Acesso em: 2 mar. 2023.

Chave seccionadora ou disjuntor: Qual escolher? - Proauto. Disponível em: <https://proauto-electric.com/noticias-post/chave-seccionadora-ou-disjuntor-stringbox/#:~:text=Como%20o%20pr%C3%B3prio%20nome%20sugere,risco%20a%20seguran%C3%A7a%20do%20operador.>>. Acesso em: 1 maio. 2023.

CRESESB- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 23 fev. 2023.

COSTA, M. M. S.; SOUZA, D. R.; BALDESSIN, N.; ALBANO, R. F.; FABRICIO, M. M. G. Modelagem de componentes em BIM para edifícios históricos: Estudo de caso de um elemento do edifício moderno E1, no campus da USP São Carlos - SP. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 145-161, jul./set. 2021.

Catálogo de produtos – **SONNEN ESTRUTURAS.** Disponível em: <http://www.solarfix.com.br/wp-content/uploads/2022/01/sonnen-estruturas-catalogo-2022.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

DC-Isolator-Switch-BYT.2-series.pdf. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1xVtliq7s-bwx8f9o_PmBzs93I9u9sAcE/view. Acesso em: 2 mar. 2023.

Disjuntor Termomagnético - Como funciona? Disponível em:

<<https://blog.tecnogera.com.br/blog/como-funciona-um-disjuntor-termomagnetico#:~:text=O%20disjuntor%20termomagn%C3%A9tico%20%C3%A9%20um,que%20ultrapasse%20o%20considerado%20adequado>>. Acesso em: 24 abr. 2023.

Ecos 2K Plus - ecoSolys. Disponível em: <https://ecosolys.com.br/inversores/ecos-2k-plus/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

Estruturas para Módulos Fotovoltaicos. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://energiasirius.com/wp-content/uploads/2021/02/Catalogo-Solar-Romagnole.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2023.

Ficha Técnica Tigreflex Reforçado [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://tigrecombr-](https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-)

[prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-technica/Ficha%20Tecnica%20155_Tigreflex%20Reforcado.pdf](https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-technica/Ficha%20Tecnica%20155_Tigreflex%20Reforcado.pdf). Acesso em: 6 mar. 2023.

Fonte extensa de PV Produtos de Proteção e EV Carregadores | BENY Nova energia.

Disponível em: <https://www.beny.com/pt/>. Acesso em: 1 mar. 2023.

F-STORE. String Box 01 Saída / 01 ou 02 Entradas Clamper – SBC02/01. Disponível em:

<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-01-saida-01-ou-02-entradas-clamper-%E2%80%93-sbc02-01-79388>. Acesso em: 2 mar. 2023.

Glossário - CEMIG RI. Disponível em: [https://ri.cemig.com.br/servicos-aos-](https://ri.cemig.com.br/servicos-aos-investidores/glossario/#:~:text=Consumidor%20do%20subgrupo%20B1%20%E2%80%93%20Unidade,como%20servi%C3%A7o%20p%C3%ABablico%20de%20irriga%C3%A7%C3%A)

[investidores/glossario/#:~:text=Consumidor%20do%20subgrupo%20B1%20%E2%80%93%20Unidade,como%20servi%C3%A7o%20p%C3%ABablico%20de%20irriga%C3%A7%C3%A3o](https://ri.cemig.com.br/servicos-aos-investidores/glossario/#:~:text=Consumidor%20do%20subgrupo%20B1%20%E2%80%93%20Unidade,como%20servi%C3%A7o%20p%C3%ABablico%20de%20irriga%C3%A7%C3%A3o). Acesso em: 19 jul. 2022.

Infográfico - ABSOLAR. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.

Acesso em: 03 mar. 2023.

LOJA OFICIAL CLAMPER. CLAMPER - Loja Oficial. Disponível em:

https://www.lojclamper.com.br/?utm_source=google&utm_medium=cpc&keyword=clamper. Acesso em: 1 mar. 2023.

Manual de Distribuição Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D - Conexão em Baixa Tensão. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://novoportal.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/ND.5.30.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.

MATEUS VINTURINI. O que é DPS e como é usado nos sistemas fotovoltaicos?

Disponível em: <[https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/#:~:text=O%20DPS%20\(dispositivo%20de%20prote%C3%A7%C3%A3o,surtos%20causados%20por%20descargas%20atmosf%C3%A9ricas](https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/#:~:text=O%20DPS%20(dispositivo%20de%20prote%C3%A7%C3%A3o,surtos%20causados%20por%20descargas%20atmosf%C3%A9ricas)>. Acesso em: 24 abr. 2023.

MENDES, T. DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE PARA O CAMPUS LITORAL NORTE DA UFRGS. TCC (Engenharia de Gestão de Energia) – UFRGS. Tramandaí, p. 31. 2020.

MOURA FÉ, Lucila Santos de. Guia explicativo do uso da modelagem da informação da construção (BIM 4D) no planejamento de uma edificação. 2019. Monografia (Projeto Final em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.

NeoSolar. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/tecnologia-mppt-mlpe-otimizacao-inversor-solar>. Acesso em: 25 fev. 2023.

Normas Regulamentadoras - NR. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 19 jul. 2022.

ABNT Catalogo. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 19 jul. 2022.

NUNES, G.; LEÃO, M. Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM *Comparative study of design tools - the traditional CAD and BIM modeling*. n. 55, p. 47–61, 2018.

OLIVEIRA, L. H. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia/MG, 2018.

OLIVEIRA, Bruno da Silva. O uso do BIM em projetos elétricos e solares fotovoltaicos, na construção civil. Dissertação (Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

Portal da Câmara dos Deputados. Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9377-17-maio-2018-786731-publicacaooriginal-155623-pe.html>. Acesso em: 19 jul. 2022.

Revit: Famílias paramétricas. [s.l: s.n.]. Disponível em:

https://damassets.autodesk.net/content/dam/au/Brasil-2014/documents/materialapoio/2011/AUBR_23-Revit%20Famílias%20parametricas.pdf. Acesso em: 14 mar. 2023.

Sobre os diferentes tipos de famílias | Revit 2018 | Autodesk Knowledge Network.

Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-Model/files/GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2-htm.html#:~:text=Os%20tr%C3%AAs%20tipos%20de%20fam%C3%ADlia,criar%20fam%C3%ADlias%20incorporadas%20e%20compartilhadas>. Acesso em: 02 jan. 2023.

SOUZA, A. B. D.; OLIVEIRA, A. L. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 287–298, 26 dez. 2019.

String Box PHB STB01-1000V/05 (1 entrada - 1 saída) - PHB Solar. Disponível em:

<https://www.energiasolarphb.com.br/produto/string-box-phb-stb01-1000v-05-1-entrada-1-saida/>. Acesso em: 2 mar. 2023.

TABELA DE EQUIVALÊNCIA DE ELETRODUTOS DE PVC RÍGIDO. [s.l: s.n.].

Disponível em: <https://volttengenharia.com.br/wp-content/uploads/2018/05/Tabela-de-equivalencia-de-eletrodutos-pvc.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

Valores de tarifas e serviços. Disponível em:

<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 26 fev. 2023.

WEBCONECTE. Estruturas Fixadoras de Painéis solares - SSM Solar do Brasil.

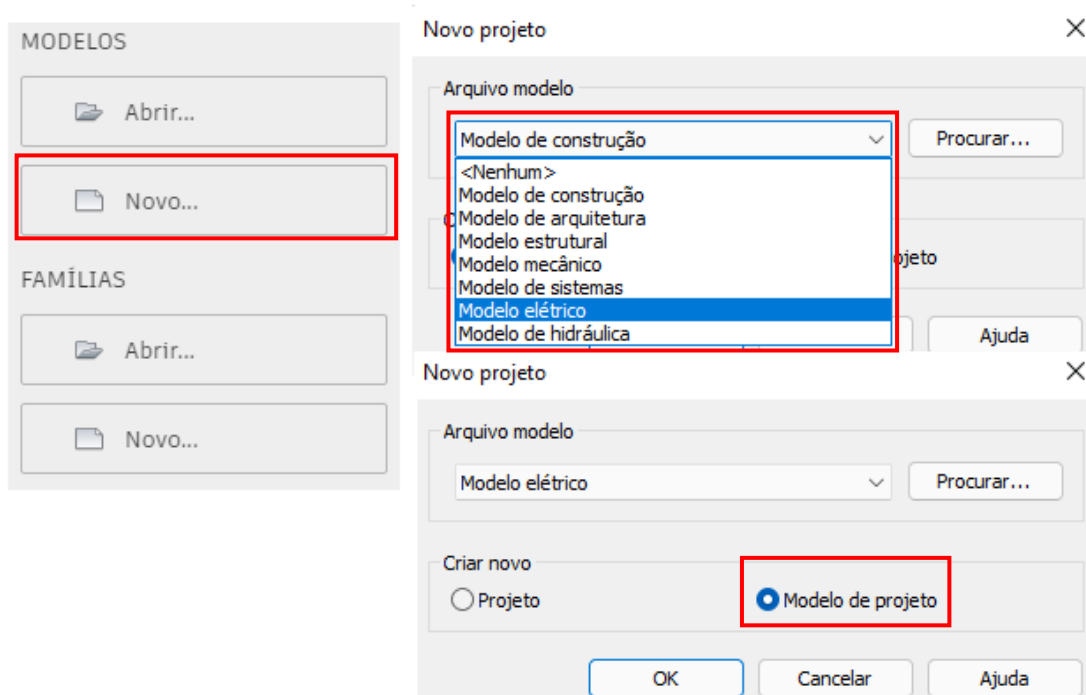
Disponível em: <https://www.ssmsolardobrasil.com.br/ssm/>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ANEXO A

1 Iniciando uma nova família ou modelo

Na tela inicial do REVIT, Figura 78, existem as opções “Abrir/Novo” para modelos e famílias. No caso dos modelos, ao clicar em “Novo” existem 7 modelos padrão do REVIT disponíveis, para iniciar uma nova configuração de *template* basta selecionar o padrão desejado e marcar a opção “Modelo de projeto”.

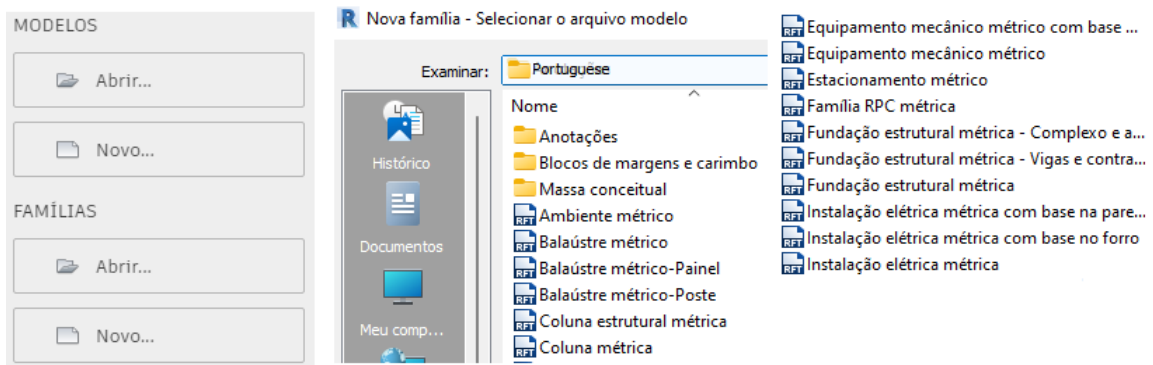
Figura 78 - Tela inicial do REVIT



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Já para as famílias, existem diversos arquivos modelos, Figura 79, variando entre peças genéricas, anotações, bloco de margens e carimbo e determinados elementos/dispositivos específicos.

Figura 79 - Modelos REVIT

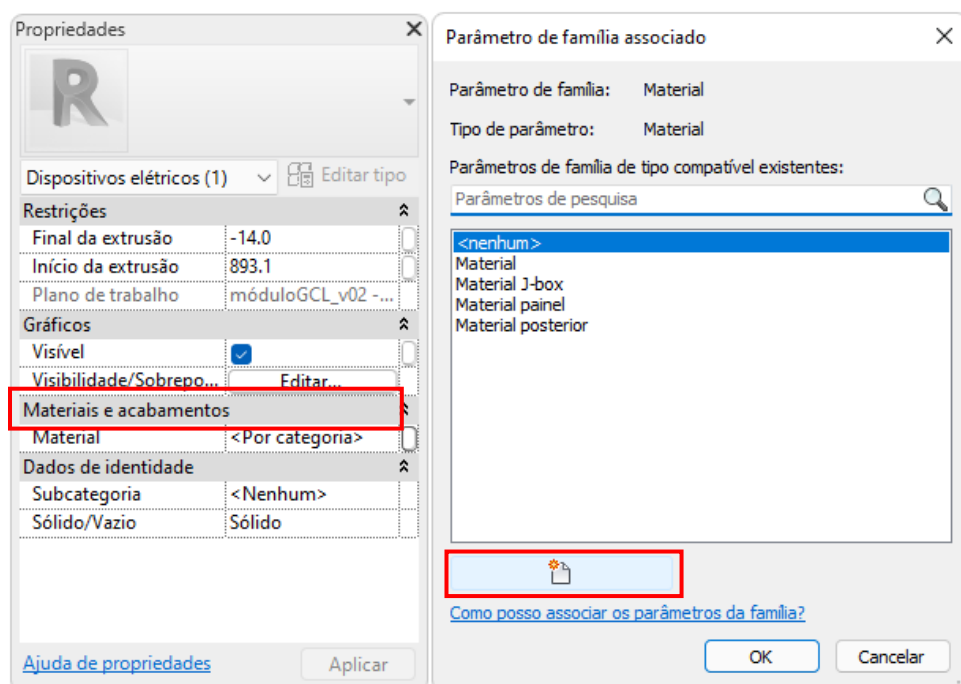


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

2 Criando parâmetros de cor e categoria da família

Para atribuir um parâmetro de cor basta clicar na extrusão criada e posteriormente, no painel propriedades, Figura 80, na seção “Materiais e acabamentos” clicar no botão ao lado de “<Por categoria>”. Será aberta uma nova janela com a opção de criar novo parâmetro e posteriormente a tela de propriedades de parâmetros exibida na Figura 2 deste trabalho de conclusão de curso.

Figura 80 - Painel de propriedades.

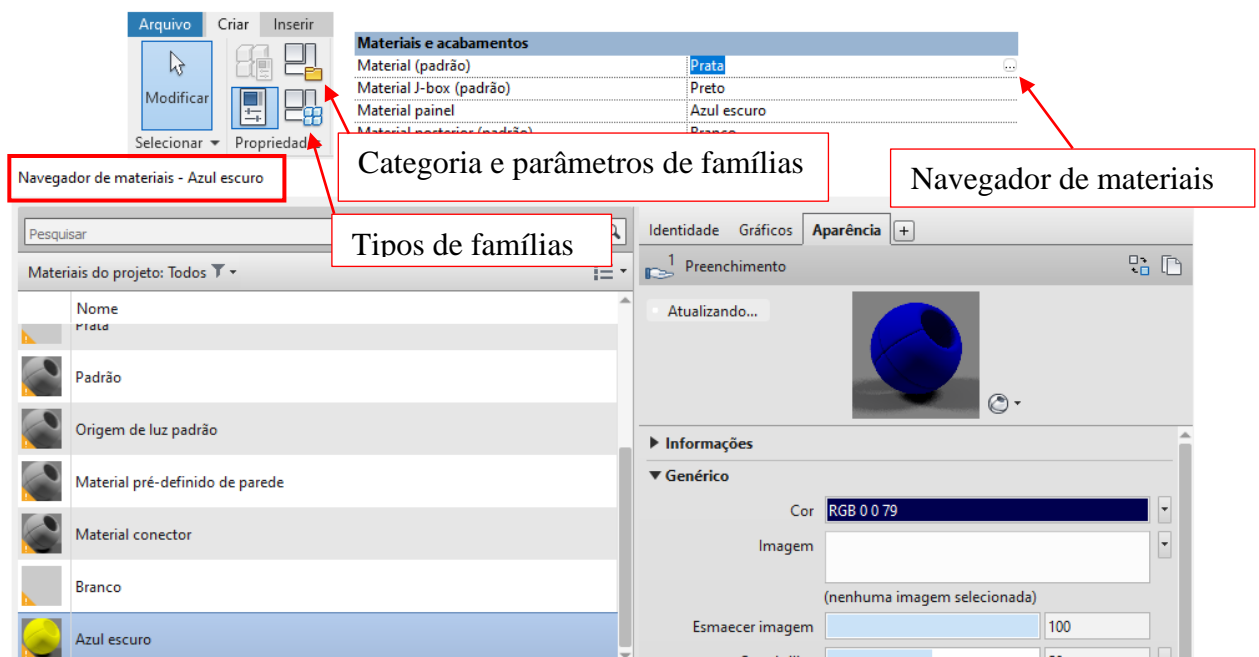


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Uma vez criados, os parâmetros podem ser acessados na janela “Tipos de famílias” onde é possível acessar o menu do “Navegador de materiais”, que permite duplicar, renomear e editar as cores, sombreamentos, realces, iluminação etc.

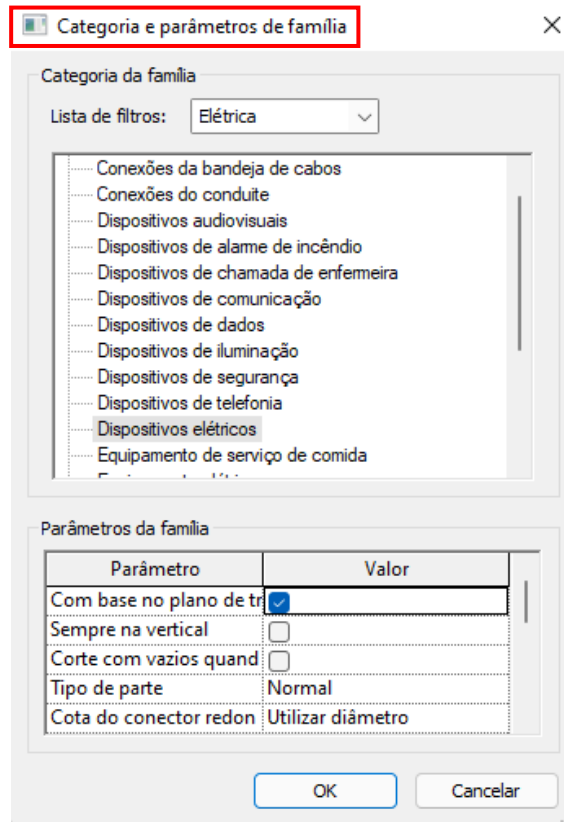
Na configuração básica das famílias, Figura 81, acima do ícone “Tipo de famílias” existe a opção “Categoria e parâmetros de família”, Figura 82, onde é possível determinar a categoria da família modelada, variando entre dispositivos elétricos, equipamento elétrico, dispositivo de iluminação etc.

Figura 81 - Configuração de famílias.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 82 - Categorização da família



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

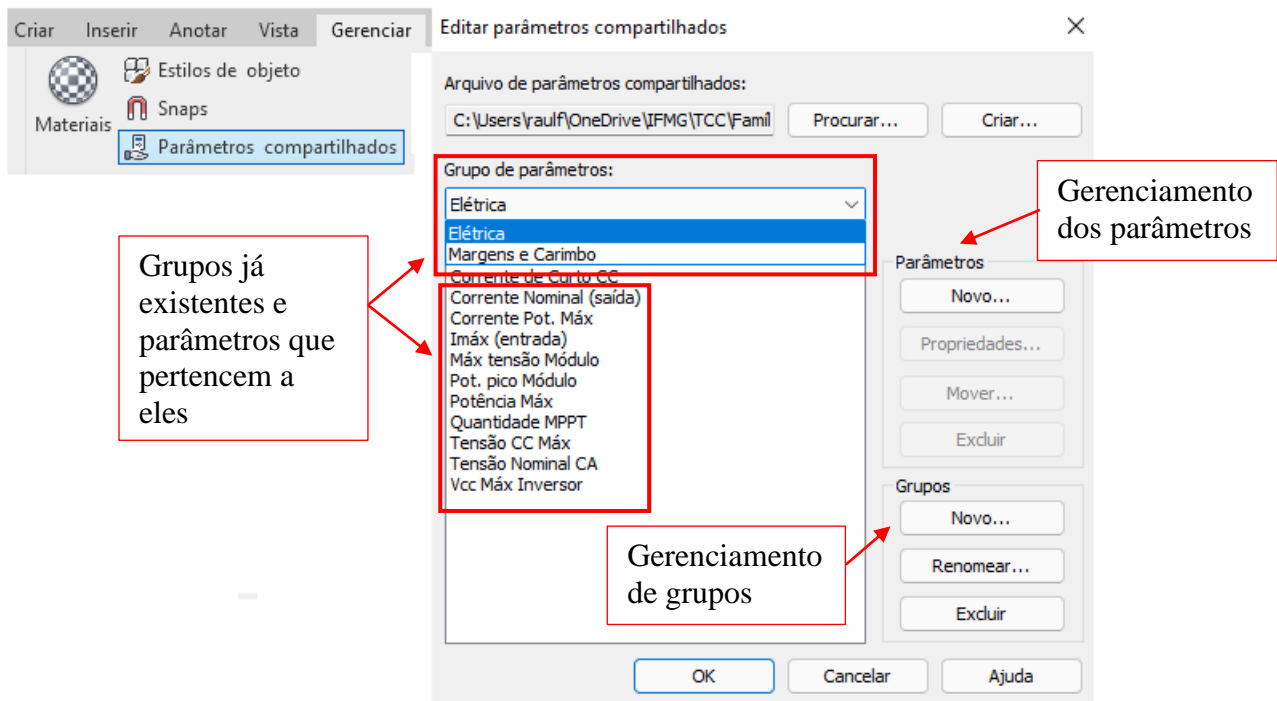
3 Parâmetros compartilhados

Os parâmetros compartilhados, Figura 83, ficam disponíveis na aba “Gerenciar”, seja no ambiente de edição de famílias, configuração de *template* ou ambiente de projeto.

Acessando o menu, existem opções para criar um novo grupo e para criar os parâmetros pertencentes aquele grupo. Uma vez criados, os grupos de parâmetros compartilhados ficam listados e disponíveis em todos os *templates*, famílias ou projetos que forem carregados.

Os parâmetros compartilhados ficam armazenados externamente (disco rígido ou nuvem) via arquivo .TXT específico, sendo de extrema importância não excluir ou modificar esta nota de texto manualmente.

Figura 83 - Parâmetros Compartilhados

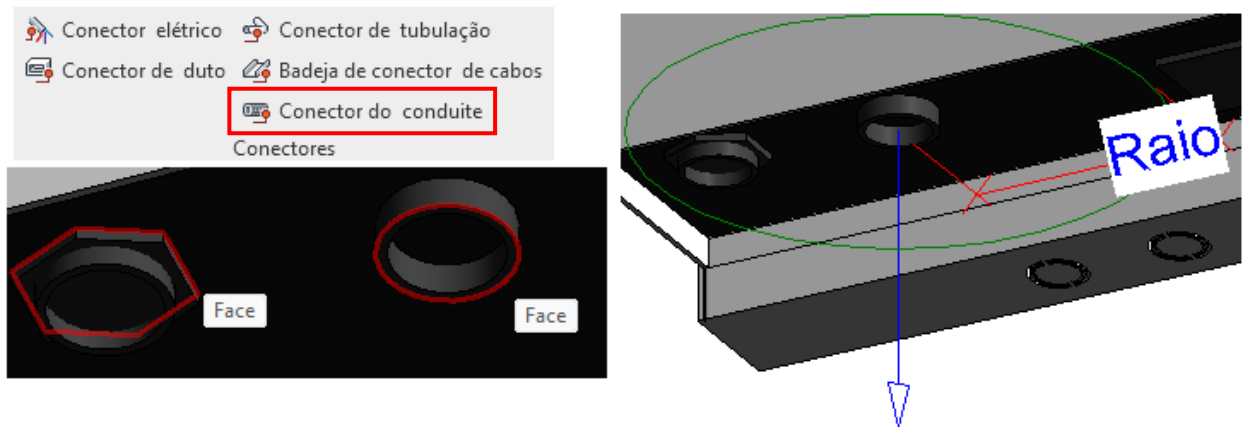


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

4 Criando conectores de conduíte

A ferramenta para criação de conectores de conduítes fica disponível na aba “Criar”, Figura 84. Clicando sobre o ícone, o REVIT irá esperar que o usuário selecione uma face do elemento modelado. Após determinar a face, será criado um círculo que indicar o tamanho do conector e uma seta que indicar o sentido de nascimento do conduíte (eletroduto).

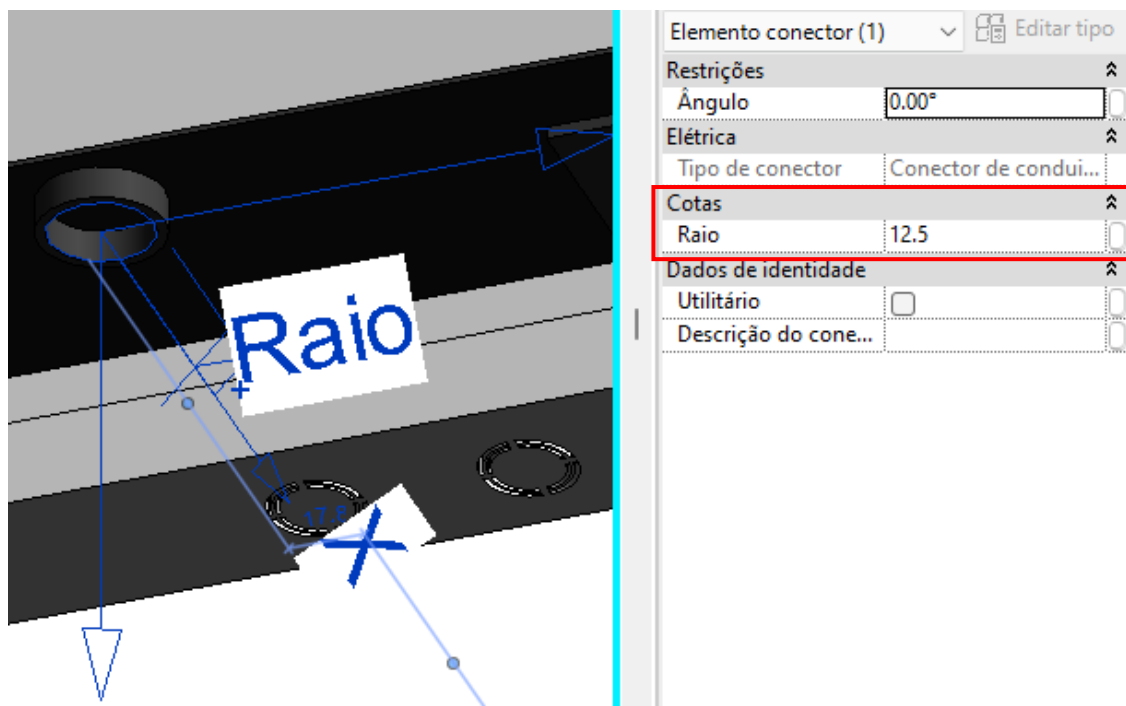
Figura 84 - Criação de conector de conduíte.



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Para configurar o raio do conector basta clicar sobre o círculo criado e escrever o valor desejado ao no painel de propriedades, Figura 85. O padrão utilizado é 12.5 [mm], que corresponder a um eletroduto de $\text{Ø}3/4''$, no entanto, em ambiente de projeto o conector irá funcionar para os demais diâmetros de eletrodutos.

Figura 85 - Configuração do raio de um conector



Fonte: Fonte: Imagem de autoria própria (2023).