



Júlia Machado de Souza

Maria Eduarda Mofato Pinto Cabral

**Estudo do planejamento de projeto da usina fotovoltaica
Werneck II: uma análise comparativa utilizando a
metodologia BIM e a tradicional**

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Orientador: Cristiano Saad Travassos do Carmo

Rio de Janeiro
Dezembro de 2023



Agradecimentos

Deus não coloca em nosso coração sonhos que não somos capazes de realizar, então agradeço primeiro a Ele por me sustentar até aqui.

Aos meus avós, José Antônio (in memoriam) e Maria de Lourdes, por todo o esforço que fizeram para que o meu sonho fosse possível. Vô, gostaria que você estivesse aqui, sinto sua falta todos os segundos da minha vida, mas sei que o senhor estaria orgulhoso de mim. Vó, ainda temos muito a comemorar juntas nessa vida, não existem palavras suficientes para te agradecer. Obrigada por serem os melhores avós do mundo, sem vocês eu não seria metade do que sou hoje e não teria chegado até aqui.

À minha mãe, Claudia, por não medir esforços por mim em todos os meus anos de vida, mas principalmente quando resolvi fazer faculdade em outra cidade. Só nós sabemos o quão desafiador foi, mas você nunca me desamparou e eu sou grata por isso.

Ao meu namorado, Jean, por ser a minha melhor companhia, por me acolher mesmo quando eu estou surtando e por não ter me deixado desistir em nenhum momento. Ainda bem que a nossa química aconteceu no tempo que estávamos prontos para tal, quero você pela vida toda.

Ao meu pai, Marcos, por ter me ensinado a sobreviver no Rio ao longo dos anos, enquanto embarcava em todas as minhas loucuras de fã adolescente. Ao meu irmão, Vinícius, por ser o melhor presente de Natal que uma irmã mais velha poderia ter, e ao meu primo, Mateus, por completar o nosso trio de irmãos, vocês fizeram da minha infância um tempo muito feliz.

À toda minha família, por entender os momentos que eu não consegui estar junto deles, pela parceria e por nunca terem julgado as minhas decisões, mesmo quando não entendiam. Agradeço a todos pelas coisas boas que fizeram por mim, aos meus tios,



principalmente, João Carlos, por ser exemplo e me mostrar que a graduação seria possível e principalmente por ter colocado as minhas maiores alegrias nesse mundo: Maria Eduarda e Cecília. Eu não sabia que o amor poderia ser tão grande até a chegada delas.

Aos meus amigos de Teresópolis pelos anos de companheirismo e compreensão, citar todos não caberia aqui, mas vocês sabem quem são. Aos meus amigos do início da graduação, João Pedro, Patrícia Almeida, Samuel Bento e Vinícius Mota que compartilharam toda a correria que foi essa parte das nossas vidas. À Caroline Chedid, que chegou no final e tem feito esses últimos anos serem mais divertidos. E a tantos outros que passaram pela minha vida e somaram de alguma forma.

A todos os professores que fizeram parte da minha trajetória, mas principalmente ao Cristiano Saad, o orientador desse projeto, por ter abraçado o tema com entusiasmo. Agradeço principalmente pela sua paciência conosco.

À SolarGrid, por ser uma empresa tão ímpar, ao meu supervisor Felipe Alves, coordenador Felipe Taveira e diretor Thiago Moret, por terem apoiado a elaboração desse TCC. A todos os meus colegas de trabalho, principalmente aos que estão comigo desde o início na sala de projetos. Meu crescimento profissional deve-se ao tempo que passamos juntos, vocês me ensinam todos os dias.

E por último, à minha dupla de graduação e cúmplice nesse projeto, Maria Eduarda Mofato. Agradeço por toda companhia, todos os momentos de surtos compartilhados, por todas as notas baixas e altas juntas, por todas as vezes que você colocou minhas ideias no papel, e principalmente por somar tanto na minha vida. É muito bom dividir o meu único neurônio com você. E Duda, se um dia você resolver construir um prédio, eu entro nele de olhos fechados.

Júlia Machado de Souza



Agradecimentos

Aos meus pais, Patricia e Wedson, por acreditarem em mim desde o meu primeiro dia de vida, me ensinarem tudo que sei, me inspirarem todos os dias e me mostrarem que sou capaz de conquistar tudo que desejo. Sou extrema e eternamente grata por sempre se esforçarem para me dar o melhor em todos os parâmetros da vida, por todos os conselhos que já me deram. Sem eles eu não seria nada.

Ao meu avô, meu segundo pai, que me criou e nunca duvidou de mim. Seu Joanyr, “Gente Boa”, é um prazer ser sua neta. À minha avó (in memoriam), minha segunda mãe, que até os meus 8 anos estive ao meu lado me apoiando e me moldando. Sua falta é extremamente dolorosa, Dona Marta. À Rosalia, minha terceira mãe, por ter me criado ao lado dos meus pais e meus avós maternos, por sempre se mostrar disponível para mim, por me amar como filha. Essas cinco pessoas me deram a vida.

Ao Gabriel, meu melhor amigo e namorado, pelo amor absurdo, pela conexão, pelos abraços apertados, pela paciência e por todas as vezes que se esforçou para me ajudar e me fazer continuar, mesmo quando não sabia como. Tenho certeza de que os últimos anos teriam sido muito mais difíceis se ele não estivesse por perto.

À minha família, em especial meus primos – Andrezza, Isabela, Manuella, Eduardo, Rafael, Júlia e Maysa –, por me tirarem boas risadas nos momentos mais difíceis, me inspirarem inconscientemente a ser uma pessoa melhor, serem meus amigos acima de tudo e estarem sempre ao meu lado.

Ao Adriano, que além de meu primo, foi meu chefe e minha inspiração. Agradeço por, além de todas as coisas ditas acima, me ajudar todas as vezes que precisei, me dar oportunidade e confiar no meu potencial como profissional, disponibilizar horas dos seus



dias para me ajudar a estudar quando as coisas estavam difíceis. Sem ele eu não teria finalizado esse ciclo, disso eu tenho certeza.

Aos meus amigos da vida, por estarem sempre disponíveis nos momentos difíceis, pelo amor e apoio de todas as horas e principalmente por entenderem quando eu precisava estudar e não podia estar presente. À Gabriela, minha irmã de outra mãe, que merece uma menção honrosa por sempre atender o telefone quando eu ligava, por sempre estar disponível para os meus choros e arrancar as risadas mais sinceras após eles, pela amizade e conexão, pelos abraços e conselhos.

Aos meus amigos da faculdade, por sempre serem apoio para tudo que passamos juntos, pelos trabalhos em grupo, ajudas com matérias e risadas nos corredores. À Caroline Chedid, por me fazer chorar de rir só de pensar nas nossas conversas, por trazer leveza e risada até 21 horas da noite.

Aos meus professores da PUC-Rio e da City College of New York (CCNY), por todo aprendizado passado e por fazerem parte da minha formação. Em especial ao professor Cristiano Saad, nosso orientador, por aceitar entrar nesse projeto com a gente, acreditar no nosso potencial e me apresentar esse mundo incrível que é o BIM.

Finalmente, mas não menos importante, à Júlia, minha amiga e dupla durante a faculdade, por tudo. Sou grata por me ajudar nos momentos que necessitei, dentro e fora da vida acadêmica. Passamos por muita coisa juntas, muitos sufocos, surtos e muita risada (inclusive durante os surtos). Júlia, eu espero que a vida me dê a honra de continuar sendo sua amiga. Eu sei a Engenheira incrível que está se tornando e me inspiro em você para correr atrás dos meus sonhos. Você vai longe e eu tenho muito orgulho de você. Ah, você é maluca de entrar em um prédio meu de olhos fechados, por isso a gente dá certo.

Maria Eduarda Mofato Pinto Cabral



Resumo

A indústria da Engenharia Civil é extremamente importante para o desenvolvimento da sociedade e sabe-se que atualmente a área da construção civil é responsável por 5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (CBIC, 2022). Outro setor que está em constante desenvolvimento é o das energias renováveis, visto que a sociedade está cada vez mais preocupada em manter a sustentabilidade do planeta. Um tipo de energia renovável que vem se destacando bastante nos últimos anos é a energia solar (fotovoltaica), porém esse tipo de geração de energia enfrenta alguns desafios na fase de obras. Por serem projetadas sob demanda, é extremamente importante que as obras sejam realizadas de forma rápida e eficiente, evitando o máximo de atrasos e retrabalhos. Para isso, surge a utilização da metodologia BIM (*Building Information Modeling*), que permite uma melhor integração entre todas as informações do projeto, facilitando a visualização do modelo 3D nas fases iniciais do planejamento e do modelo 4D, para melhor acompanhar o andamento do cronograma. Este trabalho aborda o conceito de usinas fotovoltaicas, planejamento de obras e metodologia BIM, fazendo uma análise comparativa entre a abordagem tradicional usada atualmente e a otimizada pela técnica BIM. Será utilizado como estudo de caso o projeto da usina Werneck II e este estudo concluiu que a utilização do BIM, apesar de possuir investimento inicial mais caro e necessitar de capacitação de equipe em questões tecnológicas, possibilita uma eficiência maior do projeto. A utilização do BIM transformou a forma como o projeto foi visto desde o início e diminuiu o tempo em que ele foi desenvolvido, diminuiu os erros de compatibilização e permitiu uma maior agilidade na fase de construção.

Palavras-chave: BIM; Planejamento de Obras; Usinas Fotovoltaicas; Energia Solar; Estudo de Caso; Análise Comparativa.



Abstract

Civil Engineering is an extremely important industry for societal development, and it's well-known that currently, the construction sector accounts for 5% of Brazil's Gross Domestic Product (GDP) (CBIC, 2022). Another sector that is continuously evolving is renewable energy, as society increasingly focuses on maintaining the planet's sustainability. One type of renewable energy that has been gaining significant attention in recent years is solar (photovoltaic) energy. However, this form of energy generation faces certain challenges during the construction phase. Due to being designed on demand, it is extremely important that the projects are carried out quickly and efficiently, minimizing delays and rework as much as possible.. This is where the BIM (Building Information Modeling) methodology comes into play, enabling better integration of all project information. It facilitates the visualization of the 3D model in the early stages of planning and the 4D model for improved monitoring of the schedule. This paper discusses the concept of photovoltaic plants, construction planning, and the BIM methodology, conducting a comparative analysis between the currently used traditional approach and the optimized one using the BIM methodology. The Werneck II plant project is used as a case study, and this study concludes that while BIM requires a higher initial investment and team training in technological aspects, it enables greater project efficiency. The use of BIM transformed how the project was perceived from the outset, reduced the development time, minimized compatibility errors, and allowed for greater agility in the construction phase.

Keywords: BIM; Construction Planning; Photovoltaic Plants; Solar Energy; Case Study; Comparative Analysis.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Usinas Fotovoltaicas (UFVs).....	4
2.1.1. Vantagens do Uso da Energia Solar	5
2.1.2. Desvantagens do Uso da Energia Solar	6
2.2. Planejamento de Obras: Abordagem Tradicional.....	7
2.3. Metodologia BIM (<i>Building Information Modeling</i>)	8
3. LIMITAÇÕES	12
4. METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO.....	13
4.1. Descrição da Usina.....	13
4.2. Metodologia do Processo	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1. Análise dos Dados Coletados	27
5.2. Comparação entre Metodologias BIM e Tradicional	28
5.3. Implicações e Interpretações dos Resultados.....	28
6. CONCLUSÃO.....	29
6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	30
6.2. Considerações Finais	31
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução da variação do PIB brasileiro e do PIB da construção civil entre 2010 e 2023.....	1
Figura 4.1 - Layout geral da UFV (2D)	14
Figura 4.2 - Lista de projetos emitidos	15
Figura 4.3 - Cronograma original (parcial) do projeto da Usina Werneck II	16
Figura 4.4 - Fluxograma do Método Tradicional	17
Figura 4.5 - Cronograma atualizado do projeto	19
Figura 4.6 - Modelo 3D da Usina Werneck II.....	20
Figura 4.7 - Modelo 3D da Usina Werneck II (Foco nos Painéis Solares).....	20
Figura 4.8 - Teste de <i>Clash Detection</i> no NavisWorks	21
Figura 4.9 - Resultados do Teste de Detecção de Conflitos (<i>Clash Detection</i>) no NavisWorks	22
Figura 4.10 - Modelo 4D do projeto da Usina Fotovoltaica Werneck II.....	24
Figura 4.11 - Fluxograma da Metodologia BIM	26



1. INTRODUÇÃO

A indústria da Engenharia Civil é extremamente importante para o desenvolvimento da sociedade, pois não só é responsável pela geração de diversos empregos, como pelo avanço das cidades e construções. Em vista disso, sabe-se que atualmente a área da construção civil é responsável por 5% do PIB brasileiro (CBIC, 2022).

Em 2023, Construção Civil crescerá acima da economia nacional pelo terceiro ano consecutivo.



Figura 1.1 – Evolução da variação do PIB brasileiro e do PIB da construção civil entre 2010 e 2023
Fonte: Agência CBIC, 2022

A transição para fontes de energia renováveis tem sido um tema de grande relevância no cenário global, sendo pauta de pesquisas e notícias da IEA (*International Energy Agency*) e de Conferências Climáticas há mais de uma década e se tornando mais relevante com o passar dos anos. Com o avanço da tecnologia e a constante preocupação com o meio ambiente, junto com outras áreas, a construção civil também evoluiu ao longo dos anos. Nesse contexto, as usinas fotovoltaicas (UFV) emergem como uma solução promissora, convertendo a energia solar diretamente em energia elétrica.



No ramo da energia solar, a construção civil é responsável pela execução de todos os ativos de um parque fotovoltaico, desde a utilização de serviços preliminares até elementos de subestação elétrica.

O setor de energia solar é responsável pela geração de mais de 1.000.000 Gigawatts hora de energia renovável mundialmente, enquanto o Brasil está em 14º lugar no ranking mundial, segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2021).

Um problema enfrentado pela área de projetos na geração fotovoltaica é que, devido a demanda dos clientes em relação a construção de usinas, as equipes necessitam ser mais ágeis possíveis e, na maioria das vezes, a entrega das obras é demorada. Além disso, deve atender os requisitos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quanto às diferentes formas de aproveitamento da energia gerada pelo consumidor, às formas de posicionamento dos painéis para garantir segurança e funcionalidade, às taxas cobradas, dentre outros.

O planejamento e a implementação desses projetos requerem metodologias eficientes para garantir o sucesso e a viabilidade técnica e econômica. Um dos modelos que permitem agilidade em projetos é o BIM, Modelagem da Informação da Construção, ou *Building Information Modeling*.

O BIM surgiu com o avanço da tecnologia e seu objetivo é ser uma metodologia que auxilia na análise e planejamento de projetos, evoluindo os métodos usados no processo tradicional, que não visa integrar as disciplinas responsáveis, utilizado atualmente. Utilizando essa metodologia, é possível facilitar a troca de informações, integrar etapas, eliminar partes desnecessárias, atingir melhorias operacionais, financeiras



e produtivas, dentre muitos outros benefícios econômicos para a empresa, tanto na redução de custos quanto de tempo.

Essa tecnologia permite também integrar o modelo 3D do projeto ao cronograma da obra e à orçamentação. O desenvolvimento simultâneo de todas as disciplinas permite uma melhor compatibilização do projeto, tornando-o mais preciso e completo e aumentando a sua qualidade (EASTMAN et al., 2011).

Pensando nisso, esse projeto tem o objetivo de utilizar a metodologia BIM para planejar, controlar e projetar uma obra no tempo necessário definido pela ANEEL, permitindo solucionar antecipadamente os problemas que os gestores normalmente encontram quanto ao tempo de entrega das obras e possivelmente inspirar as empresas responsáveis pelos projetos de usinas fotovoltaicas a mudarem seus métodos construtivos e de planejamento. Além disso, será feita uma análise comparativa, com o auxílio do Revit e do NavisWorks, da metodologia BIM com a metodologia utilizada tradicionalmente para o planejamento de obras.



2. REVISÃO DE LITERATURA

O referencial teórico busca oferecer uma fundamentação teórica, com base em fontes acadêmicas, para os conceitos apresentados neste trabalho. Ao longo deste capítulo, serão apresentadas mais informações a respeito das usinas fotovoltaicas, o conceito do planejamento de obras pelo ponto de vista da abordagem tradicional e um detalhamento da metodologia BIM.

2.1. Usinas Fotovoltaicas (UFVs)

Usinas fotovoltaicas (UFVs), também conhecidas como parque solares, são instalações destinadas à conversão da energia solar em energia elétrica em larga escala. Elas desempenham um papel crucial na transição global para fontes de energia renováveis. A conversão da energia se dá por meio de dispositivos semicondutores conhecidos como células fotovoltaicas. Estas células operam baseadas no efeito fotovoltaico, um fenômeno físico em que a incidência de luz sobre um material semicondutor induz a geração de corrente elétrica (SMITH e STELLBOGEN, 2005).

As primeiras células fotovoltaicas foram desenvolvidas no século XIX, mas só se tornaram economicamente viáveis para uso em larga escala nas últimas décadas (LAMEIRINHAS; TORRES; CUNHA, 2022). A eficiência das células aumentou significativamente, e o custo de produção diminuiu, tornando a energia solar uma opção cada vez mais atraente (MARTIN e GOSWAMI, 2005).

O funcionamento de uma UFV envolve diversos componentes além das células fotovoltaicas, que contêm materiais semicondutores que geram corrente elétrica quando



expostos à luz solar. Em uma UFV é possível encontrar também módulos e inversores, que convertem a corrente contínua gerada pelas células em corrente alternada, sistemas de montagem e dispositivos de controle e proteção. A eficiência da conversão energética e a confiabilidade da usina dependem tanto da qualidade dos componentes utilizados quanto da correta integração e instalação deles. (WENHAM et al., 2007).

Na construção deste tipo de empreendimento, antes que seja feita a instalação dos componentes das usinas, é feita a terraplenagem do terreno quando necessário, o planejamento da localização dos elementos construtivos e o estaqueamento para fixar esses módulos nos seus devidos lugares.

2.1.1. Vantagens do Uso da Energia Solar

Existem alguns benefícios inegáveis a respeito do uso da energia fotovoltaica gerada pelas UFVs. O uso da energia solar é sustentável para o meio ambiente, uma vez que não depende de combustíveis fósseis e diminui as emissões de gases de efeito estufa. Considerando que a mudança climática global está cada vez pior, reduzir a emissão de gases do efeito estufa, principalmente as emissões de carbono, nos projetos é uma prioridade para a indústria da construção civil (LIU; MENG; TAM, 2015). Além disso, a energia solar também é renovável, escalável e versátil, visto que é abundante e pode ser implementada em diferentes escalas, desde sistemas residenciais a grandes parques solares como as UFVs (SOLANKI, 2015).

Outro ponto importante e bastante comentado é a respeito do benefício econômico da energia solar, que possui menores custos operacionais e de manutenção em



comparação às outras formas de geração de energia, tanto para os consumidores quanto para as empresas responsáveis pela geração.

2.1.2. Desvantagens do Uso da Energia Solar

Embora a energia fotovoltaica seja uma fonte de energia renovável com muitos benefícios, como visto acima, ela também apresenta algumas desvantagens que são importantes considerar. O primeiro ponto notável é o custo inicial elevado para a instalação dos sistemas, isso inclui o custo dos painéis solares, inversores, baterias (para armazenar a energia durante a noite ou em dias nublados), estruturas de montagem e instalação (OKIDO e TAKEDA, 2013). Além disso, como a energia é gerada por meio da incidência solar, a geração de energia depende muito das condições climáticas, dias e regiões mais nubladas, com muita chuva ou pouca incidência solar podem afetar significativamente na quantidade de energia gerada e resultar em uma inconsistência na disponibilidade de energia se ela não for adequadamente gerenciada e/ou combinada com outras fontes (ALSEMA et al., 2010).

Para que seja feito um bom aproveitamento da geração de energia, são necessários grandes espaços para a instalação dos painéis solares. É muito comum ver casas com painéis solares em seus telhados, porém essas residências geram energia apenas para consumo próprio ou para funções específicas (TAWALBEH et al., 2021).

Apesar de ser extremamente conhecida por ser sustentável e pelo seu impacto positivo no meio ambiente, a geração da energia fotovoltaica pode trazer impactos ambientais negativos visto que, além de muitos de seus componentes não serem biodegradáveis, a reciclagem dos painéis não é amplamente implementada, criando um



desafio para o descarte quando chegam ao final de suas vidas úteis. Por fim, na instalação de usinas fotovoltaicas, quando necessário, acontece um grande movimento de terra, o que pode impactar os ecossistemas locais e a biodiversidade (TAWALBEH et al., 2021).

2.2. Planejamento de Obras: Abordagem Tradicional

O planejamento de obras é uma etapa crucial na gestão de um projeto de construção, influenciando diretamente sua execução, custos e qualidade final, para garantir a conclusão bem-sucedida dentro do prazo, orçamento e qualidade especificados (SABINO, 2016). Ele tem por objetivo responder as seguintes questões antes do início do projeto: o que será feito, como as atividades deverão ser executadas, quem realizará cada uma das atividades, com quais meios as atividades serão realizadas e quando cada atividade deverá ser executada.

O planejamento tradicional de obras envolve diversas etapas inter-relacionadas (SABINO, 2016). Inicialmente, é realizada a definição clara dos objetivos e escopo do projeto, incluindo todos os trabalhos necessários. Depois de definido o escopo, procede-se à elaboração de um cronograma detalhado, descrevendo todas as atividades e marcos do projeto a serem executados, seus prazos e dependências. A alocação de recursos humanos, materiais e financeiros é então realizada, baseando-se nas necessidades identificadas no cronograma para a distribuição de recursos, como mão de obra, materiais e equipamentos. Por fim, é essencial a implementação de práticas de gestão de riscos, visando identificar, analisar e solucionar potenciais obstáculos e incertezas que possam impactar o projeto.



As ferramentas utilizadas nessa abordagem incluem *software* de gerenciamento de projetos, como o Microsoft Project, que permitem a criação de cronogramas, alocação de recursos e monitoramento do progresso das atividades (CÔRREA, 2023). Além dessas ferramentas, também são utilizados métodos ágeis, como Scrum, que possuem o objetivo de melhorar a flexibilidade e a resposta a imprevistos, um dos maiores desafios do planejamento de obras (ANDRADE et al., 2009).

2.3. Metodologia BIM (*Building Information Modeling*)

O BIM é uma metodologia digital que permite a criação e manipulação de representações digitais de características físicas e funcionais de um projeto de construção. BIM simula um projeto de construção em um ambiente virtual e facilita a colaboração e integração entre diferentes disciplinas envolvidas no projeto e representa uma transformação no campo da arquitetura, engenharia e construção, promovendo uma abordagem integrada e colaborativa para o planejamento, design, construção e gestão de edificações e infraestruturas. Além disso, o BIM cria uma oportunidade para que medidas sustentáveis sejam inseridas no projeto ainda nas primeiras fases (AZHAR; BROWN; SATTINENI, 2010).

O BIM baseia-se em princípios de modelagem tridimensional e gestão de informações, onde um modelo digital único e coerente é utilizado para representar todos os aspectos físicos e funcionais do projeto. Este modelo serve como uma fonte centralizada de informações, otimizando a comunicação, coordenação e tomada de decisões entre todos os envolvidos no projeto (EASTMAN et al., 2011).



As aplicações do BIM estendem-se por todo o ciclo de vida do projeto, desde a concepção e design, passando pela construção, até a operação e manutenção. Ele permite análises de desempenho, simulações, detecção de conflitos e interferências, além de fornecer suporte para práticas sustentáveis e eficiência energética (BORRMANN; KOCH; BEETZ, 2018). No planejamento de obras, o BIM é utilizado para modelagem tridimensional, simulação de construção, análise de conflitos e interferências, gestão de recursos, e estimativa de custos. Ele oferece uma visualização detalhada do projeto antes da construção começar de fato, permitindo modificações e melhorias no planejamento (AZHAR, 2011), e permite verificar a existência de conflitos espaciais de instalações provisórias como canteiros de obra, galpões de armazenamento etc., que normalmente passariam despercebidos até o momento que se tornassem um problema de fato. Metodologias tradicionais 2D não suportam a possibilidade de tomar decisões e possuir visualizações do projeto em fases tão iniciais quanto o BIM.

A implementação do BIM oferece diversas vantagens, como a melhoria da colaboração, comunicação e coordenação entre as partes envolvidas, redução de erros e retrabalhos, otimização de recursos e prazos, aprimorando a eficiência e a qualidade do projeto. Investigações, de modo geral, se apresentam mais simples com a utilização do BIM. Com todos esses fatores de otimização, o BIM também ajuda a tornar os projetos mais sustentáveis (SUCCAR, 2009).

Entretanto, a adoção do BIM também apresenta desafios e limitações. A necessidade de investimento em *software* e treinamento especializado, bem como a resistência às mudanças por parte de profissionais habituados com métodos tradicionais, podem representar barreiras à sua implementação. Além disso, a falta de padronização e



interoperabilidade entre diferentes plataformas BIM pode dificultar a troca de informações.

A metodologia BIM tem encontrado aplicações crescentes, pesquisas feitas em 2015 mostraram que 48% dos escritórios de arquitetura dos Estados Unidos estavam utilizando ferramentas da metodologia BIM (LIU; MENG; TAM, 2015). Em Londres, a partir de 2016, o governo começou a exigir o uso da metodologia em toda obra pública. No Brasil, mais especificamente em São Paulo, as primeiras implementações da metodologia BIM na construção civil surgiram quando as empresas responsáveis por diferentes disciplinas se juntaram e aderiram à metodologia, visto que não havia apenas uma empresa que fizesse todo o projeto e o entregasse completo (informação verbal)¹. Em 2018, o Governo Brasileiro implementou a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, que define um período de dez anos para a exigência gradual do BIM em obras públicas.

No setor de energias renováveis, a metodologia ainda está começando a ser utilizada. Por meio do BIM, é possível realizar análises de insolação, otimizar a disposição e orientação dos painéis solares, maximizando a eficiência energética, bem como integrar as instalações fotovoltaicas com outros sistemas do edifício ou infraestrutura. O BIM auxilia a identificar e resolver interferências e conflitos entre os sistemas presentes no projeto (elétrico, mecânico e estrutural, por exemplo) e permite uma melhor gestão de materiais, evitando atrasos e otimizando recursos.

A modelagem de informações permite uma avaliação mais precisa do desempenho energético, contribuindo para o dimensionamento adequado dos sistemas e a

¹ Fala do professor Carlos Eden Sardenberg na disciplina de Planejamento e Controle de Obras, PUC-Rio, em 01 set. 2023.



maximização da geração de energia. Além disso, o BIM facilita a documentação e gestão de ativos ao longo do ciclo de vida da usina, auxiliando na manutenção e operação dos sistemas fotovoltaicos.

Ademais, foi visto que a metodologia BIM diminui o retrabalho, e esse fato pode ser colocado em prática ao iniciar um novo projeto e utilizar um projeto antigo como base, alterando apenas os dados e deixando que o *software* utilizado faça o recálculo de todo o projeto.

Nos últimos anos, diversos estudos foram conduzidos para analisar a aplicabilidade da metodologia BIM em diferentes tipos de projetos. Bataglin et al. (2018) desenvolveu um estudo a respeito da implementação da modelagem BIM 4D na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto. Biotto; Formoso; Isatto (2015) integrou o uso da modelagem 4D e do BIM na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. Coutinho; Moura; Teixeira (2021) estudou a eficiência da compatibilização de um projeto arquitetônico e hidrossanitário usando a metodologia BIM. A integração do BIM com as ferramentas utilizadas em cada projeto estudado resultou em uma otimização significativa no desempenho do projeto e uma melhoria da comunicação e coordenação entre as diferentes equipes envolvidas, resultando em uma redução de custos e prazos.

Apesar dos avanços significativos, ainda existem lacunas que precisam ser preenchidas. Um ponto extremamente importante é a carência de estudos comparativos entre a metodologia BIM e as abordagens tradicionais específicas para o setor de energias renováveis. Compreender as limitações e vantagens de cada abordagem em contextos práticos contribuiria significativamente para a adoção mais ampla do BIM no setor. Além disso, estudos de caso específicos irão ilustrar como a implementação do BIM em projetos



de usinas fotovoltaicas pode contribuir para uma tomada de decisão mais informada e para o aumento da eficiência energética.

Adicionalmente, a integração do BIM com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA), apresenta um campo fértil para pesquisa, permitindo automatizar ainda mais os processos.

3. LIMITAÇÕES

O presente estudo emprega a metodologia BIM para realizar uma análise comparativa com a abordagem tradicional de planejamento de usinas fotovoltaicas. No entanto, a eficácia desta metodologia pode ser comprometida se não forem utilizadas as ferramentas e *softwares* apropriados, principalmente se os *softwares* utilizados não possuírem uma boa integração entre eles. Além disso, a precisão dos resultados depende diretamente da competência e experiência dos usuários em BIM. A falta de utilização das práticas de BIM entre as empresas envolvidas também pode levar a inconsistências na implementação e interpretação dos resultados.

As limitações têm implicações diretas para a interpretação dos resultados. Sendo assim, é recomendável que futuros estudos sejam conduzidos para validar e complementar os achados deste trabalho, minimizando assim as limitações aqui discutidas.



4. METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO

4.1. Descrição da Usina

A usina fotovoltaica selecionada para este estudo é a Werneck II, que está localizada no município de Paraíba do Sul, no interior do estado do Rio de Janeiro, com uma capacidade instalada de 1.258,32 kWp (quilowatt-pico), essa usina gera uma energia de 2.459 MWh (megawatt-hora) anual bruta e 2.370,48 MWh líquida.

O projeto foi iniciado em maio de 2022 e concluído em outubro de 2022 e a usina foi energizada pela primeira vez em março de 2023. A usina ocupa uma área de 2,85 hectares e é composta por 84 painéis solares e 4 inversores. O projeto foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para a matriz energética renovável da concessionária responsável pela usina, a empresa Light, proporcionando energia limpa e sustentável.

4.2. Metodologia do Processo

Para conduzir a análise comparativa, foram coletados diversos dados e informações sobre o projeto da usina fotovoltaica. Isso inclui detalhes sobre o planejamento, design, construção, operação e manutenção da usina. Essas informações são cruciais para realizar a análise comparativa e extrair *insights* sobre as vantagens e desvantagens de cada abordagem, além de identificar áreas de melhoria e recomendações para práticas futuras.

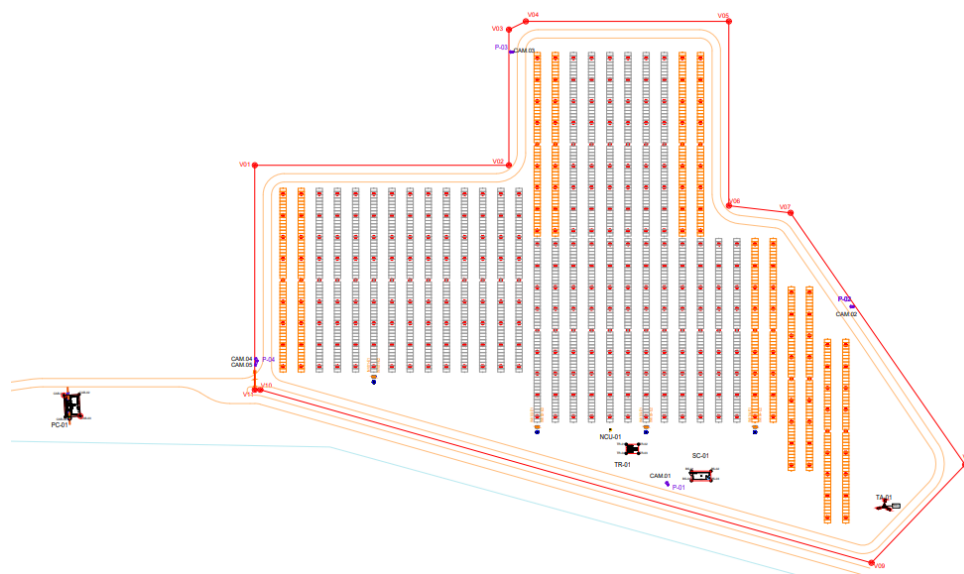


Figura 4.1 - Layout geral da UFV (2D)
Fonte: SolarGrid

Com o objetivo de comparar os métodos de projetos utilizados hoje em dia e provar a efetividade de um projeto feito em BIM, foram analisadas duas formas: o projeto convencional, que é como o a UFV foi feita original, e o projeto otimizado em BIM, que descrito nesse trabalho.

Foram analisados todos os arquivos que foram gerados no projeto convencional, ao todo foram emitidos 82 documentos, desses, 44 são desenhos. Os 38 arquivos restantes são estudos preliminares, memoriais descritivos e de cálculo. É importante notar que dos 44 desenhos emitidos, quase metade é revisão. Esse ponto é importante de ser mencionado pois uma das desvantagens da utilização da metodologia tradicional quando comparada à metodologia BIM é a emissão de revisões desnecessárias de projeto. Através da metodologia BIM, é possível fazer alterações automatizadas e mais rápidas, que ficarão disponíveis mais facilmente para todos os envolvidos no projeto, e garantir que seja feita a compatibilização correta, sem que seja necessário emitir uma nova revisão para as correções, principalmente se elas forem mínimas. A Figura 4.2 apresenta a lista de projetos emitidos e destaca em azul todas as emissões que são revisões.



Nome	Status	Título
CIV-WNKII.RJ-AC-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Arquitetônico do Abrigo da Cabine de Medição
CIV-WNKII.RJ-AS-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Arquitetônico da Sala de Controle
CIV-WNKII.RJ-BS-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Estrutural da Base da Sala de Controle
CIV-WNKII.RJ-CO-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout de Canteiro de Obras
CIV-WNKII.RJ-DG-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Drenagem
GER-WNKII.RJ-AG-001-03.pdf	Liberado para obra	Layout Geral
GER-WNKII.RJ-AG-001-02.pdf	Liberado para obra	Layout Geral
ELE-WNKII.RJ-IT-001-03.pdf	Liberado para obra	Layout de Interligação dos Cabos de Alimentação e Comunicação
CIV-WNKII.RJ-DV-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Drenagem da Via de Acesso
CIV-WNKII.RJ-EC-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Estrutural da Base da Cabine
CIV-WNKII.RJ-ES-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Estrutural da Base do Transformador
CIV-WNKII.RJ-SS-001-01.pdf	Liberado para obra	Projeto Sanitário da Sala de Controle
CIV-WNKII.RJ-HS-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Hidráulico da Sala de Controle
CIV-WNKII.RJ-LV-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout de Valas de Encaminhamento de Cabos
CIV-WNKII.RJ-DG-001-03.pdf	Liberado para obra	Projeto de Drenagem
CIV-WNKII.RJ-SA-001-01.pdf	Liberado para obra	Projeto de Sinalização Acesso
CIV-WNKII.RJ-DG-001-02.pdf	Recusado	Projeto de Drenagem
CIV-WNKII.RJ-PC-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout de Cercamento
CIV-WNKII.RJ-BS-001-01.pdf	Liberado para obra	Projeto Estrutural da Base da Sala de Controle
CIV-WNKII.RJ-SA-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Sinalização Acesso
CIV-WNKII.RJ-ES-001-01.pdf	Liberado para obra	Projeto Estrutural da Base do Transformador
CIV-WNKII.RJ-SS-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto Sanitário da Sala de Controle
CIV-WNKII.RJ-TP-101-00.pdf	Recusado	Projeto de Terraplenagem dos Platôs
ELE-WNKII.RJ-IT-001-02.pdf	Liberado para obra	Layout de Interligação dos Cabos de Alimentação e Comunicação
CIV-WNKII.RJ-TP-201-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Terraplenagem das Vias
CIV-WNKII.RJ-LV-001-03.pdf	Liberado para obra	Layout de Valas de Encaminhamento de Cabos
CIV-WNKII.RJ-DG-001-01.pdf	Recusado	Projeto de Drenagem
CIV-WNKII.RJ-TP-101-01.pdf	Liberado para obra	Projeto de Terraplenagem dos Platôs
ELE-WNKII.RJ-EN-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Conexão a Rede
ELE-WNKII.RJ-IT-001-01.pdf	Em aprovação - Visível a todos	Layout de Interligação dos Cabos de Alimentação e Comunicação
CIV-WNKII.RJ-LV-001-02.pdf	Em aprovação - Visível a todos	Layout de Valas de Encaminhamento de Cabos
ELE-WNKII.RJ-IS-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout de Identificação de Strings
ELE-WNKII.RJ-IT-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout de Interligação dos Cabos de Alimentação e Comunicação
CIV-WNKII.RJ-LV-001-01.pdf	Liberado para obra	Layout de Valas de Encaminhamento de Cabos
MEC-WNKII.RJ-FT-001-01.pdf	Liberado para obra	Projeto de Fundações dos Trackers - Brametal
ELE-WNKII.RJ-LM-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout da Malha de Aterramento
GER-WNKII.RJ-AG-001-00.pdf	Liberado para obra	Layout Geral
GER-WNKII.RJ-AG-001-01.pdf	Liberado para obra	Layout Geral
MEC-WNKII.RJ-GE-001-01.pdf	Liberado para obra	Projeto de Geolocalização das Estacas
GER-WNKII.RJ-AR-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Aceiro
MEC-WNKII.RJ-FI-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Fixação dos Inversores
MEC-WNKII.RJ-FT-001-00.pdf	Recusado	Projeto de Fundações dos Trackers - Brametal
MEC-WNKII.RJ-GE-001-00.pdf	Recusado	Projeto de Geolocalização das Estacas
MEC-WNKII.RJ-PC-001-00.pdf	Liberado para obra	Projeto de Fixação dos Postes de CFTV

Figura 4.2 - Lista de projetos emitidos
Fonte: SolarGrid

O projeto no método convencional funciona da seguinte forma: o cronograma é definido pela equipe PMO (Project Management Office), de acordo com as datas previstas para entrega da usina, a partir disso a equipe de projetos recebe essas datas e se organiza para cumprir com os prazos delimitados.



Nome da Tarefa	Duração	Início da Linha Base1	Conclusão da Linha Base1
SG-Fase2_LIGHT_DPSP_Werneck	721,13 dias	Seg 21/12/2	Qua 02/08/23
+ Energização	217 dias?	Ter 15/06/21	Ter 21/03/23
+ Desenvolvimento	686 dias?	Seg 21/12/20	Qua 02/08/23
- Projeto Executivo	358,88 dias	Ter 15/06/21	Seg 12/09/22
+ Werneck 3A	118 dias	Qua 23/03/22	Qua 31/08/22
- Werneck 2	154,88 dias	Seg 07/02/22	Sex 09/09/22
- Estudos e Levantamento de Campo	114 dias	Seg 07/02/22	Qui 14/07/22
Apresentar Simulação de Geração	1 dia	Sex 20/05/22	Sex 20/05/22
Apresentar Planialtimétrico	1 dia	Seg 07/02/22	Seg 07/02/22
Receber dados de curto circuito da distribuidora	1 dia	Qui 14/07/22	Qui 14/07/22
Apresentar Estudo de Resistividade de Solo	1 dia	Qua 23/03/22	Qua 23/03/22
Apresentar Hidrológico	1 dia	Seg 30/05/22	Seg 30/05/22
Apresentar Estudo de Sondagem	1 dia	Qua 23/03/22	Qua 23/03/22
- Projetos	80,88 dias	Sex 20/05/22	Sex 09/09/22
Terraplenagem	1 dia	Sex 20/05/22	Sex 20/05/22
Via de Acesso	1 dia	Sex 20/05/22	Sex 20/05/22
Drenagem	1 dia	Seg 30/05/22	Seg 30/05/22
Cercamento	1 dia	Seg 23/05/22	Seg 23/05/22
Canteiro de Obras	1 dia	Seg 23/05/22	Seg 23/05/22
Base Cabine	1 dia	Qua 25/05/22	Qua 25/05/22
Base SKID	1 dia	Sex 27/05/22	Sex 27/05/22
Base Sala de Controle	1 dia	Qua 25/05/22	Qua 25/05/22
Estacas (Geolocalização)	1 dia	Seg 18/07/22	Seg 18/07/22
Tracker (Fornecedor)	1 dia	Sex 24/06/22	Sex 24/06/22
Aterramento	1 dia	Sex 15/07/22	Sex 15/07/22
SPDA	1 dia	Sex 15/07/22	Sex 15/07/22

Figura 4.3 - Cronograma original (parcial) do projeto da Usina Werneck II
Fonte: SolarGrid

O cronograma original do projeto, recebido pela empresa responsável, constava com todas as atividades possuindo apenas 1 dia de duração, o que não é condizente com a realidade do projeto. Isso se dá pelo fato de que o cronograma apenas apresenta as datas definidas pela equipe PMO como as ideais, não visando a duração concreta do projeto.

Foi elaborado um fluxograma utilizando a metodologia BPMN para auxiliar a entender o mapeamento de processo como um todo. O *Business Process Model and Notation* (BPMN) é um tipo de linguagem gráfica usada para representar processos de negócios. Ele usa símbolos padronizados para mostrar as etapas de um processo, as conexões entre elas e as informações que são trocadas. O BPMN ajuda a visualizar, analisar e melhorar os processos de uma organização, facilitando a compreensão e comunicação entre equipes e partes interessadas.

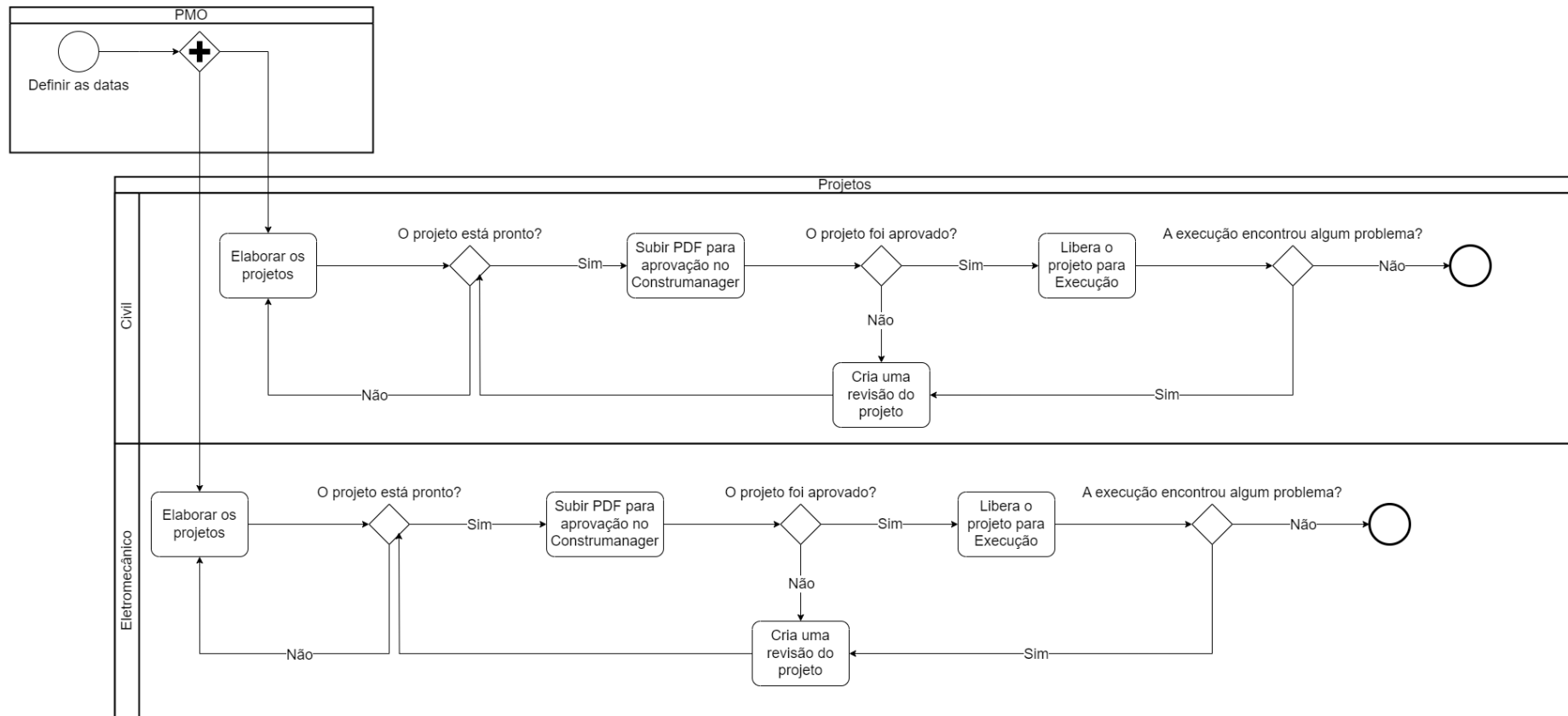


Figura 4.4 - Fluxograma do Método Tradicional
Fonte: Autoral



Analisando o fluxograma é possível perceber que o principal motivo para os atrasos dessas obras é a falta de compatibilização entre os projetos. A ausência de uma compatibilização eficiente entre as diferentes disciplinas de um projeto frequentemente resulta em erros significativos durante a fase de execução das obras. Esses problemas surgem devido à falta de interligação entre as várias áreas de especialização no processo de concepção, como arquitetura, engenharia estrutural, elétrica e hidráulica, dificultando a identificação precoce de incompatibilidades que se manifestam apenas quando a construção já está em andamento.

Com o auxílio da planilha disponibilizada parcialmente na Figura 4.2, foi possível atualizar o cronograma para que ele apresentasse as datas reais em que os projetos foram finalizados, facilitando a identificação de atrasos.



Nome da Tarefa	Duração	Início	Conclusão	Início da Linha Base1	Conclusão da Linha Base1
SG-Fase2_LIGHT_DPSP_Werneck	721,13 dia	Dom 20/	Seg 02/10/23	Seg 21/12/2	Qua 02/08/23
+ Energização	217 dias?	Ter 06/09/	Ter 11/07/23	Ter 15/06/21	Ter 21/03/23
+ Desenvolvimento	686 dias?	Dom 20/1/	Qui 10/08/23	Seg 21/12/20	Qua 02/08/23
- Projeto Executivo	445 dias	Ter 15/06/	Ter 28/02/23	Ter 15/06/21	Seg 12/09/22
+ Werneck 3A	118 dias	Qua 23/03	Sex 02/09/22	Qua 23/03/21	Qua 31/08/22
- Werneck 2	276 dias	Seg 07/02/	Ter 28/02/23	Seg 07/02/22	Sex 09/09/22
+ Estudos e Levantamento de Campo	114 dias	Seg 07/02/	Sex 15/07/22	Seg 07/02/22	Qui 14/07/22
- Projetos	202 dias	Sex 20/05/	Ter 28/02/23	Sex 20/05/22	Sex 09/09/22
Terraplenagem	63 dias	Sex 20/05/	Sex 22/07/22	Sex 20/05/22	Sex 20/05/22
Via de Acesso	1 dia	Sex 20/05/	Sex 20/05/22	Sex 20/05/22	Sex 20/05/22
Drenagem	1 dia	Sex 09/09/	Sex 09/09/22	Seg 30/05/22	Seg 30/05/22
Cercamento	1 dia	Seg 23/05/	Seg 23/05/22	Seg 23/05/22	Seg 23/05/22
Canteiro de Obras	1 dia	Seg 23/05/	Seg 23/05/22	Seg 23/05/22	Seg 23/05/22
Base Cabine	1 dia	Qua 25/05/	Qui 26/05/22	Qua 25/05/22	Qua 25/05/22
Base SKID	73 dias	Sex 27/05/	Seg 08/08/22	Sex 27/05/22	Sex 27/05/22
Base Sala de Controle	179 dias	Sex 02/09/	Ter 28/02/23	Qua 25/05/22	Qua 25/05/22
Estacas (Geolocalização)	1 dia	Seg 04/07/	Seg 04/07/22	Seg 18/07/22	Seg 18/07/22
Tracker (Fornecedor)	1 dia	Sex 24/06/	Sex 24/06/22	Sex 24/06/22	Sex 24/06/22
Aterramento	1 dia	Qua 10/08/	Qua 10/08/22	Sex 15/07/22	Sex 15/07/22
SPDA	1 dia	Ter 09/08/	Ter 09/08/22	Sex 15/07/22	Sex 15/07/22
Valas	19 dias	Sex 08/07/	Qua 27/07/22	Ter 26/07/22	Ter 26/07/22
Quantitativos Gerais (Prévia)	1 dia	Qua 25/05/	Qua 25/05/22	Qua 25/05/22	Qua 25/05/22
Encaminhamento de Dutos e Cabos (Interligação)	132 dias	Qua 25/05/22	Ter 04/10/22	Qui 28/07/22	Qui 28/07/22
Projeto Elétrico SKID (Fornecedor)	1 dia	Sáb 09/07/	Sáb 09/07/22	Sáb 09/07/22	Seg 11/07/22
Cabine (Fornecedor)	1 dia	Sáb 09/07/	Sáb 09/07/22	Sáb 09/07/22	Seg 11/07/22
Estrutura do Inversor	1 dia	Seg 23/05/	Seg 23/05/22	Ter 02/08/22	Ter 02/08/22
Supervisório	1 dia	Seg 13/06/	Seg 13/06/22	Sex 09/09/22	Sex 09/09/22
CFTV	1 dia	Ter 24/05/	Ter 24/05/22	Qui 21/07/22	Qui 21/07/22

Figura 4.5 - Cronograma atualizado do projeto

Fonte: Autoral; Adaptado SolarGrid

Com o intuito de dar início de fato a análise do projeto pelo ponto de vista da metodologia BIM, o primeiro passo foi fazer a modelagem 3D da usina fotovoltaica em estudo, visto que os projetos recebidos pela empresa todos estavam em 2D. Para isso, foi utilizado o *software* Revit, da Autodesk, e foi feita a modelagem do projeto de terraplenagem do terreno. Em seguida, em um arquivo separado, foi elaborado o layout geral da usina, considerando a posição dos painéis, e, a partir desse layout, foi feita a modelagem do projeto de drenagem.

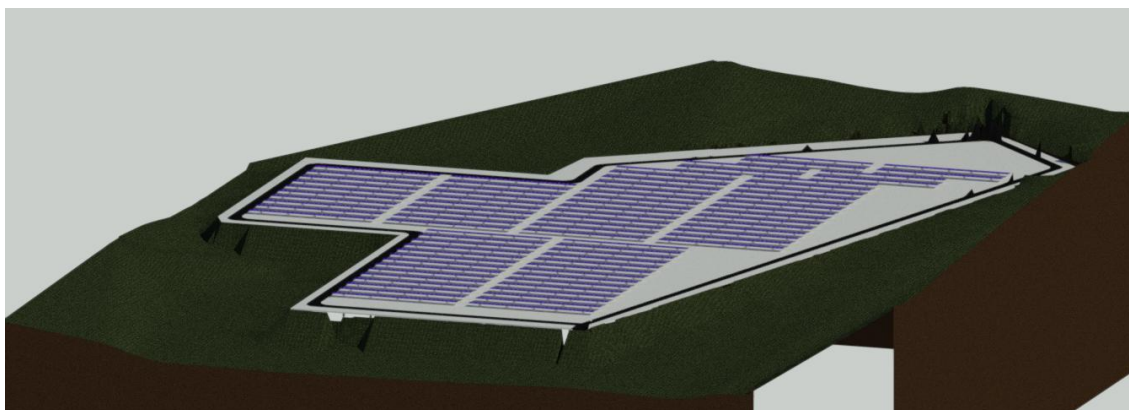


Figura 4.6 - Modelo 3D da Usina Werneck II
Fonte: Autoral

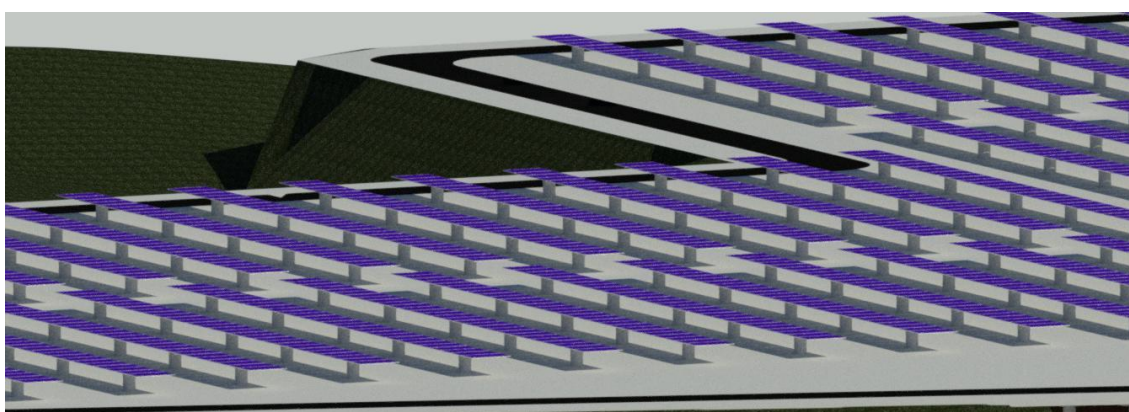


Figura 4.7 - Modelo 3D da Usina Werneck II (Foco nos Painéis Solares)
Fonte: Autoral

Após essa modelagem, foi inserido o arquivo de layout da usina e o de drenagem no *software* NavisWorks, também da AutoDesk, para a realização de um teste de detecção de conflitos (*Clash Detection*), visando deixar todo o projeto compatibilizado. Para o teste, foi configurado que o resultado seria baseado na compatibilização de elementos lineares e pontuais entre os projetos.

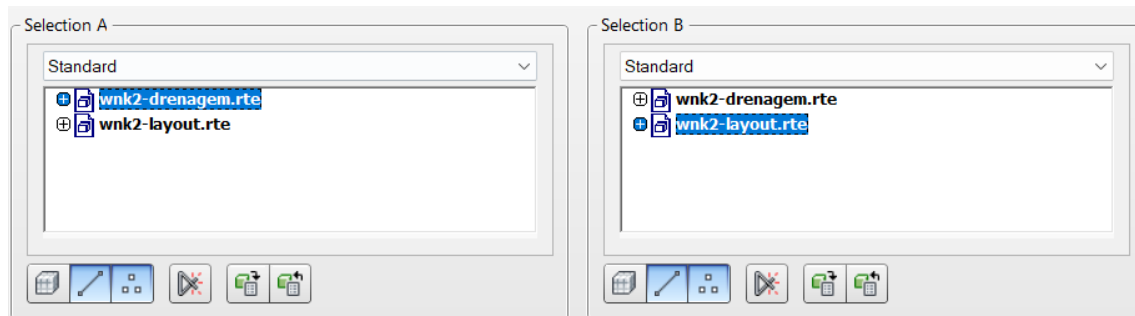


Figura 4.8 - Teste de *Clash Detection* no NavisWorks

Fonte: Autoral

O resultado do teste apontou que não existiam erros de compatibilização de projeto.

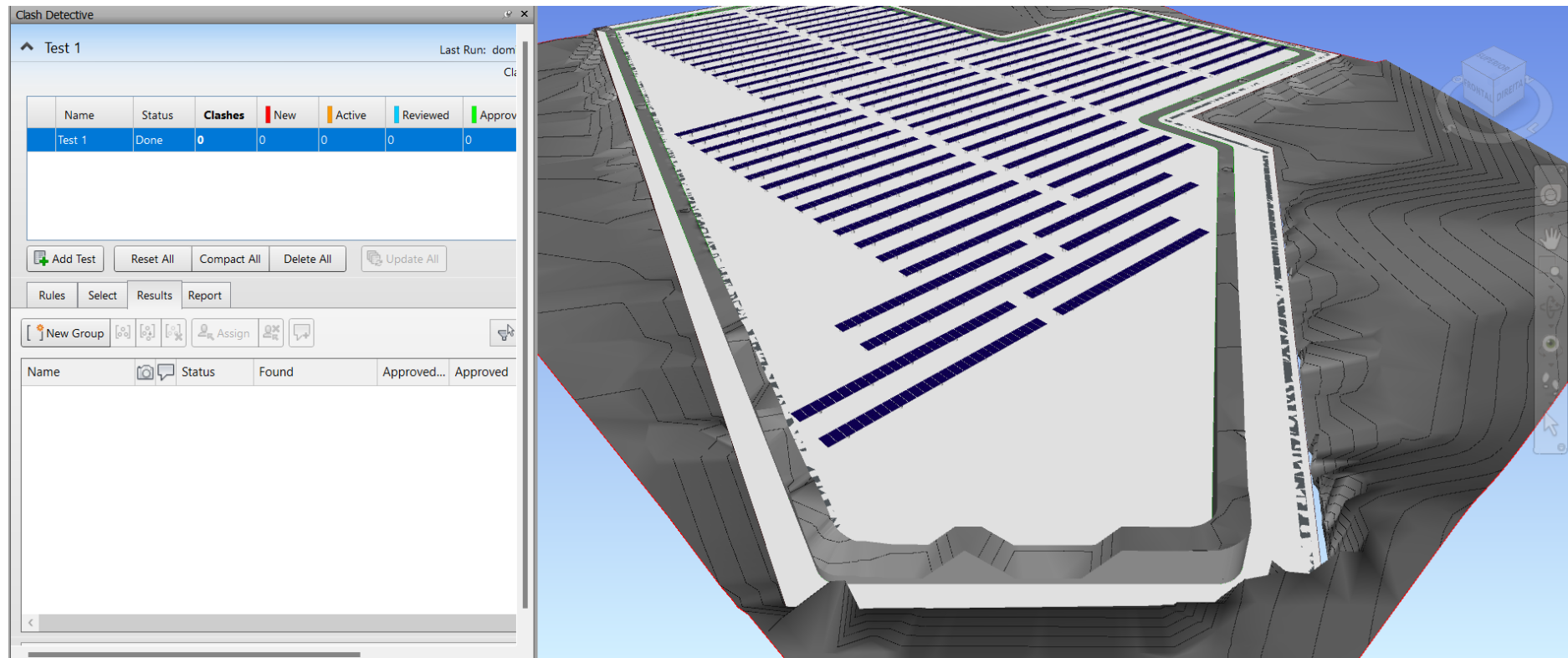


Figura 4.9 - Resultados do Teste de Detecção de Conflitos (*Clash Detection*) no NavisWorks

Fonte: Autoral



Com o auxílio do NavisWorks, é possível também gerar um modelo 4D, que nada mais é do que uma junção do modelo 3D do projeto com o cronograma, integrando uma 4ª dimensão e permitindo que seja feito um controle melhor de cada fase da construção e do projeto. Dentro do *software*, existe a possibilidade de importar diretamente o cronograma feito no Microsoft Project e conectar cada atividade a um elemento do modelo. Além de auxiliar no andamento da obra, foi visto na literatura dados sobre projetos que implementaram a modelagem 4D e conseguiram prever até mesmo obstruções no campo de visão de um operador de equipamentos pesados, que poderiam impedir a operação segura.

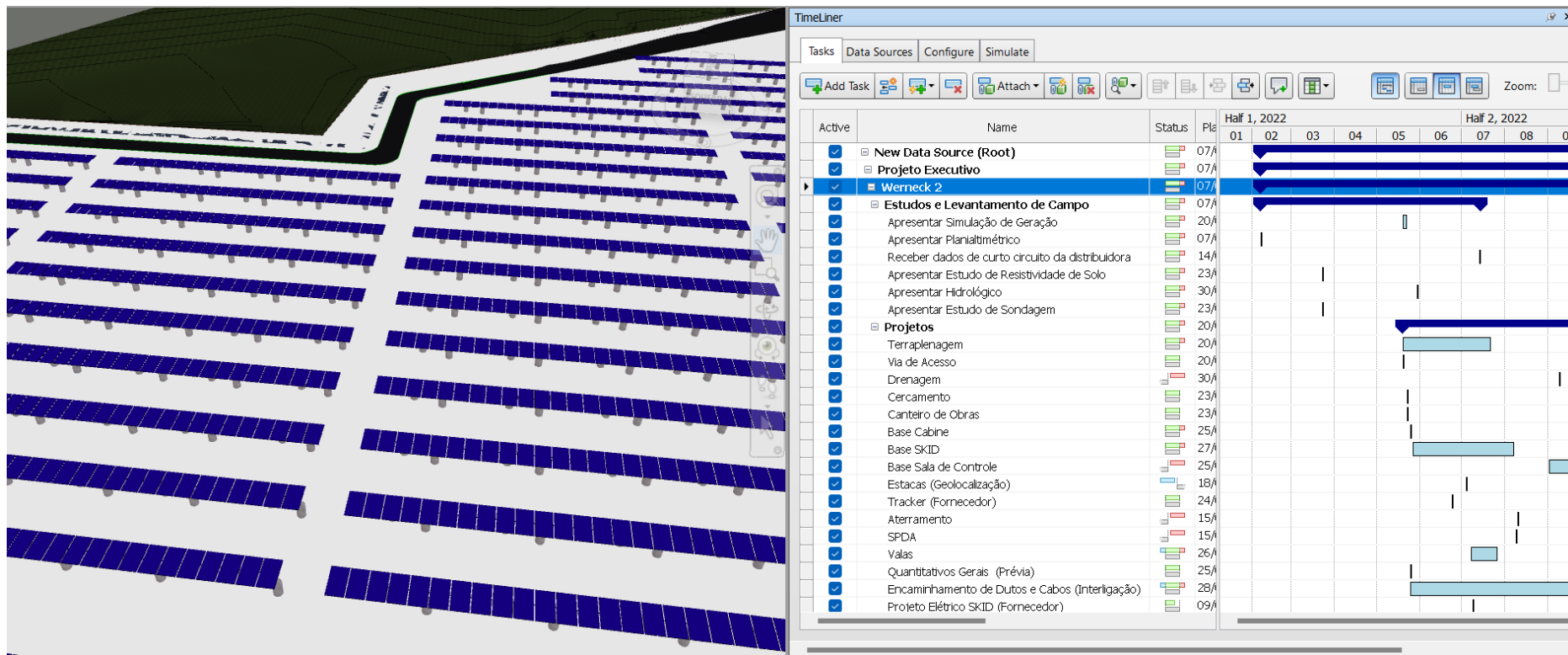


Figura 4.10 - Modelo 4D do projeto da Usina Fotovoltaica Werneck II

Fonte: Autoral



Assim como na metodologia tradicional, para a metodologia BIM foi feito um fluxograma para melhor explicar o mapeamento do processo otimizado. Analisando o fluxograma, é possível perceber os pontos em que ele difere do apresentado anteriormente para a metodologia tradicional. Na metodologia BIM, há a inserção de um “mediador”, que no caso deste projeto é o NavisWorks, responsável por verificar se o projeto foi compatibilizado corretamente. Caso haja algum erro de compatibilização, não é criada uma revisão, diminuindo o número de arquivos emitidos no projeto. No BIM, apenas se revisa o projeto e refaz a compatibilização. Concluindo todo o projeto, finalizando a modelagem, foram necessárias aproximadamente 3 semanas, considerando que foi feita uma modelagem básica apenas para exemplificação do estudo de caso.

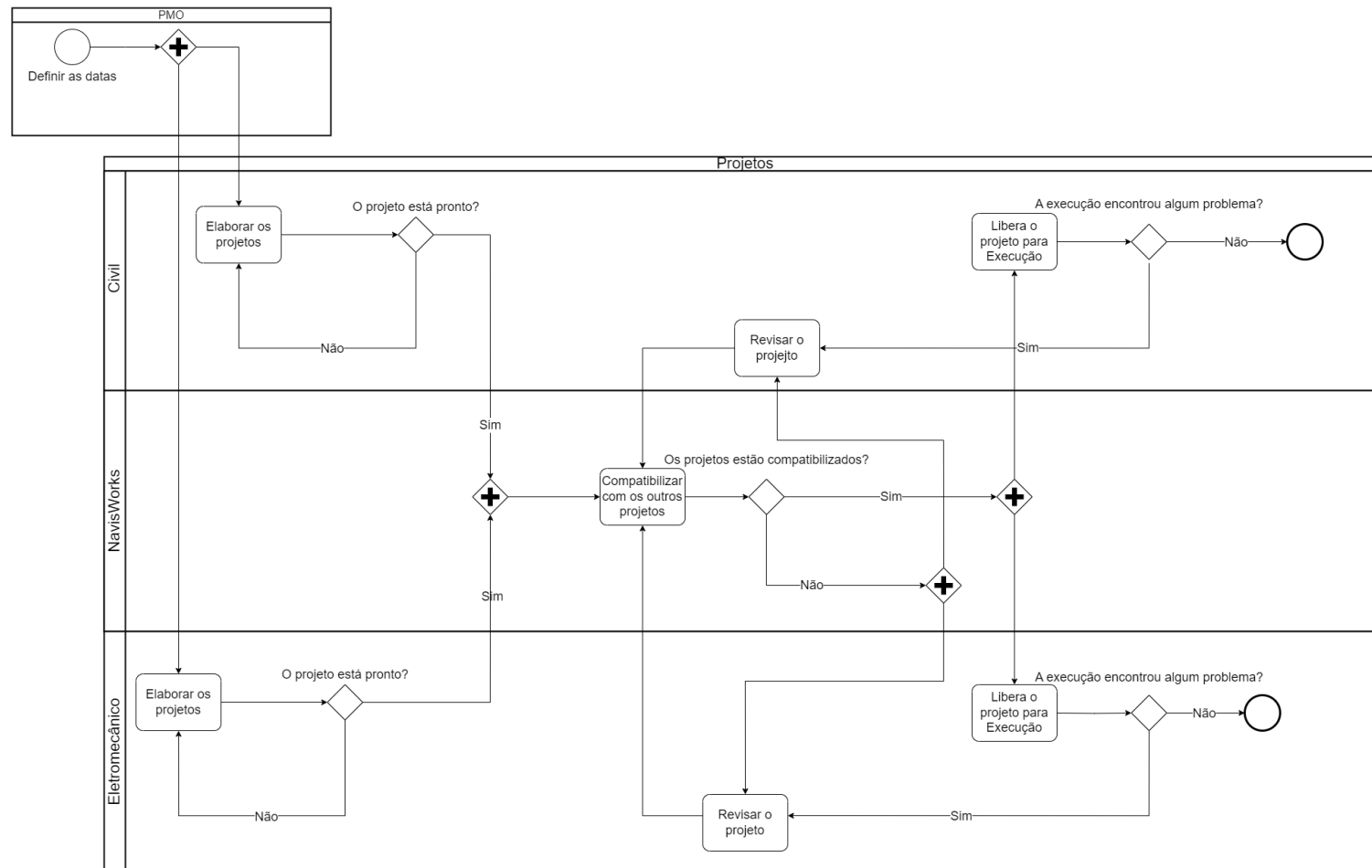


Figura 4.11 - Fluxograma da Metodologia BIM
Fonte: Autoral



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção do trabalho apresenta e discute os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados no estudo de caso, proporcionando uma comparação entre as metodologias BIM (Building Information Modeling) e tradicionais aplicadas ao planejamento de usinas fotovoltaicas.

5.1. Análise dos Dados Coletados

A análise dos dados coletados revelou diversos aspectos importantes do projeto da usina fotovoltaica. Em termos de planejamento e design, observou-se que a utilização da metodologia BIM facilitou a visualização tridimensional do projeto, permitindo uma melhor compreensão das complexidades envolvidas e uma identificação mais eficiente de possíveis interferências e conflitos. Além disso, a integração de diferentes disciplinas por meio do BIM resultou em uma coordenação mais eficaz entre as equipes, reduzindo a incidência de erros e retrabalhos.

Como foi visto, foram necessárias 3 semanas para finalizar uma modelagem básica do projeto em questão, utilizando a metodologia BIM. Quando se trata do processo tradicional, a emissão de um projeto, por mais básico que ele seja, pode demorar meses, considerando tempo de aprovação, revisões emitidas, erros encontrados etc. Sendo assim, é possível confirmar que a utilização do BIM traz o benefício da redução de tempo de execução de projeto, o que diminui também o tempo de cronograma. Além disso, há também uma redução de número de documentos. Neste trabalho foram feitas algumas revisões no modelo ao longo das semanas, porém só foi emitido um documento, o que



facilita a comunicação entre as disciplinas e diminui o número de erros causados por falta de atualização de documentos, por exemplo.

No que diz respeito à execução da obra, a utilização de ferramentas BIM proporciona uma programação mais precisa das atividades, com melhor controle dos prazos e recursos necessários. Isso resulta em uma execução mais eficiente, com redução de custos e tempo de obra. Entretanto, também foram identificados desafios associados à implementação do BIM, como a necessidade de treinamento e adaptação ao uso das ferramentas, bem como o investimento em *software*.

5.2. Comparação entre Metodologias BIM e Tradicional

Ao comparar as metodologias BIM e tradicional, ficou evidente que o BIM oferece diversas vantagens em termos de eficiência, precisão e colaboração. Os resultados indicam que o BIM contribuiu para uma melhor gestão do projeto, redução de prazos, além de facilitar a tomada de decisões mais informadas.

Por outro lado, a abordagem tradicional, apesar de ser mais familiar para muitas equipes e demandar um investimento inicial menor, mostrou-se limitada em termos de visualização e coordenação do projeto, resultando em maior incidência de erros e retrabalhos, além de dificuldades na comunicação entre as diferentes equipes.

5.3. Implicações e Interpretações dos Resultados

Os resultados obtidos neste estudo de caso têm implicações significativas para a indústria de construção de usinas fotovoltaicas, indicando que a adoção da metodologia



BIM pode resultar em melhorias significativas em termos de eficiência e qualidade do projeto.

Porém é importante continuar destacando a necessidade de investimento em treinamento e tecnologia para a implementação efetiva do BIM, assim como a importância da padronização e interoperabilidade entre diferentes ferramentas BIM.

Em suma, este estudo contribui para o corpo de conhecimento sobre a aplicação de metodologias BIM em projetos de usinas fotovoltaicas, proporcionando informações valiosas para estudantes, profissionais e pesquisadores da área.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou uma análise comparativa entre a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) e abordagens tradicionais no planejamento de uma usina fotovoltaica. Os resultados obtidos indicam que o BIM oferece vantagens significativas, incluindo melhor visualização e compreensão do projeto, comunicação eficiente entre diferentes disciplinas, redução de erros e retrabalhos, e otimização dos prazos e custos de execução. Usar o BIM possibilita a utilização de um projeto como um *template* para projetos futuros, que só precisarão de remodelações para serem ajustados e, assim, serão finalizados de maneira bem mais rápida.

Do ponto de vista prático, este trabalho apresentou dados que sugerem que a adoção da metodologia BIM pode contribuir para a melhoria da eficiência e qualidade em projetos de usinas fotovoltaicas. Isso tem implicações diretas para profissionais da área, que podem se beneficiar da integração de ferramentas BIM em suas práticas de trabalho.



Do ponto de vista teórico, este estudo contribui para a literatura existente sobre metodologias de planejamento e gestão de projetos em energias renováveis, fornecendo evidências empíricas dos benefícios associados ao uso do BIM.

Apesar de trazer pontos interessantes para futuros trabalhos a respeito da metodologia e suas aplicações, este trabalho possui limitações, incluindo o foco em um único estudo de caso. Além disso, a coleta de dados baseou-se em documentos do projeto fornecidos pela empresa responsável e conversas com funcionários, podendo não estar completa ou então sujeita a vieses.

6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

O campo de aplicação da metodologia BIM em usinas fotovoltaicas é vasto e ainda está em crescimento, o que significa que há muitas oportunidades para futuras pesquisas.

Trabalhos futuros podem expandir essa comparação incluindo diferentes tipos de projetos de energia renovável ou considerando diferentes variáveis e critérios de avaliação, como econômico, social e ambiental. Além disso, pode ser interessante explorar como a metodologia BIM pode ser integrada com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA), para otimizar o desempenho de usinas fotovoltaicas, e com técnicas e abordagens mais modernas de planejamento e produção, como por exemplo a Produção Enxuta (*Lean Production*).

Outra sugestão para ampliar o leque de informações a respeito do tema é realizar estudos detalhados sobre a relação custo-benefício da implementação da metodologia BIM em diferentes fases do ciclo de vida de usinas fotovoltaicas, além de trabalhar no



desenvolvimento de protocolos específicos para a aplicação do BIM em projetos de energia renováveis, visando padronizar práticas e melhorar a eficiência dos processos.

6.2. Considerações Finais

Este Trabalho de Conclusão de Curso contribuiu para um melhor entendimento sobre a aplicação de metodologias BIM em comparação com abordagens tradicionais no contexto de projetos de usinas fotovoltaicas. Os resultados obtidos reforçam a relevância do BIM como uma ferramenta poderosa para aprimorar o planejamento, a execução e a gestão de projetos na área de energias renováveis. Espera-se que os resultados e informações provenientes deste estudo possam servir como base para a melhoria contínua das práticas profissionais e para a realização de pesquisas futuras na área.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Antonio José F. et al. **Gestão de projeto com Scrum: um estudo de caso.** ENUCOMP–Encontro Unificado de Computação em Parnaíba, 2009.

AZHAR, S. **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry.** Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241-252, 2011.

AZHAR, Salman; BROWN, Justin W.; SATTINENI, Anoop. **A case study of building performance analyses using building information modeling.** 2010.

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES, I. R. **BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto Engineer-to-order.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 173-192, jan./mar. 2018.

BIOTTO, Clarissa Notariano; FORMOSO, Carlos Torres; ISATTO, Eduardo Luis. **Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção.** Ambiente Construído, v. 15, p. 79-96, 2015.

BORRMANN, A.; KOCH, C.; BEETZ, J. **Building Information Modeling: Why? What? How?: Technology Foundations and Industry Practice.** Chapter 1 (February 2019). 2018.

CORREIA, João Marcos de Souza. **Planejamento e controle de obras utilizando o MS Project.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2023.

Country Rankings. IRENA. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings/>. Acesso em: 5 out. 2023.

COUTINHO, André Borges; MOURA, Guilherme Souza; TEIXEIRA, Emmanuel Kennedy da Costa. **Compatibilization of an architectural and hydrossanitary project using the BIM methodology.** 2021.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** John Wiley & Sons, 2011.

Indústria da construção prevê crescimento de 2,5% em 2023. Agência CBIC, 14 dez. 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/industria-da-construcao-preve-crescimento-de-25-em-2023/>. Acesso em: 5 out. 2023.



LAMEIRINHAS, Ricardo A. M.; TORRES, João Paulo N.; CUNHA, João P. C. **A photovoltaic technology review: history, fundamentals and applications**. *Energies*, v. 15, n. 5, p. 1823, 2022.

LIU, Sha; MENG, Xianhai; TAM, Chiming. **Building information modeling-based building design optimization for sustainability**. *Energy and buildings*, v. 105, p. 139-153, 2015.

MARTIN, C.; GOSWAMI, D. Y. **Effectiveness of cooling production with a combined power and cooling thermodynamic cycle**. *Applied Thermal Engineering*, v. 26, n. 5-6, p. 576-582, 2006.

OKIDO, Shimpei; TAKEDA, Akiko. **Economic and environmental analysis of photovoltaic energy systems via robust optimization**. *Energy Systems*, v. 4, n. 3, p. 239-266, 2013.

SMITH, G., & STELLBOGEN, D. **Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells**. *Science*, 285(5428), 692-698, 2005.

SOLANKI, Chetan Singh. **Solar photovoltaics: fundamentals, technologies and applications**. Phi learning pvt. Ltd., 2015.

Statistics Time Series. IRENA. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series/>. Acesso em: 5 out. 2023.

SUCCAR, B. **Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders**. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375, 2009.

TAWALBEH, Muhammad et al. **Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook**. *Science of The Total Environment*, v. 759, p. 143528, 2021.

WENHAM, S. R.; GREEN, M. A.; WATT, M. E.; CORKISH, R. **Applied Photovoltaics**. Earthscan, 2007.