



Aula 3 – Softwares para Simulações de Sistemas Fotovoltaicos

Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva
Email: ProfJL@unicamp.br
Disciplina IT306-I



LESF-MV
LABORATÓRIO DE ENERGIA E SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS - MARCELO VILLALVA
UNICAMP

1

Agenda



- **Introdução aos softwares de simulação fotovoltaica;**
- **Arquiteturas Fotovoltaicas em simulação;**
- **Estudo de Caso de Plantas do projeto Campus Sustentável em softwares FV;**
- **Considerações para simulação Fotovoltaica;**
- **Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede manual;**
- **Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede no PVsyst;**
- Modo Rápido;
- Modo Completo;
- Sombreamento;
- Avaliação Econômica;
- Fatores P90 e P95.

Software Fotovoltaicos

- Tem o objetivo de **estimar a geração de energia** considerando as mais diversas perdas existentes, como exemplo: perdas por sombras, temperaturas, condutores, transformadores, degradação, entre outras.
- Na literatura pode-se encontrar referências que indicam que a diferença de geração de energia pode ser de $\pm 30\%$ mensal e $\pm 10\%$ anual [1].
- O erro está atrelado principalmente a questão da **irradiância que é de difícil predição** ou o uso incorreto do software e de aplicação de elementos causadores de sombra.

Diferença entre principais software FV

Principais softwares do Mercado

- **PVsyst:**
 - Destaque para simulação de sistemas conectados à rede com excelente precisão e reconhecimento do mercado;
 - Software Pago;
 - Requer treino para melhorar a usabilidade.
- **PV*SOL:**
 - Destaque para simulação de sistemas conectados à rede com uma interface *user-friendly* (facilidade principalmente para quem está começando);
 - Software Pago;
 - Menos configurável que o PVsyst, o que pode dificultar o uso para atividades científicas.

Diferença entre principais software FV

- **SOLergo:**

- Destaque para a possibilidade de gerar diagramas elétricos completos;
- Software Pago;

- **Helioscope:**

- Facilidade para simulações rápidas em qualquer lugar e computador (site);
- Site Pago;
- É recomendável para uma simulação inicial do projeto.

Diferença entre principais software FV

- **HOMER:**

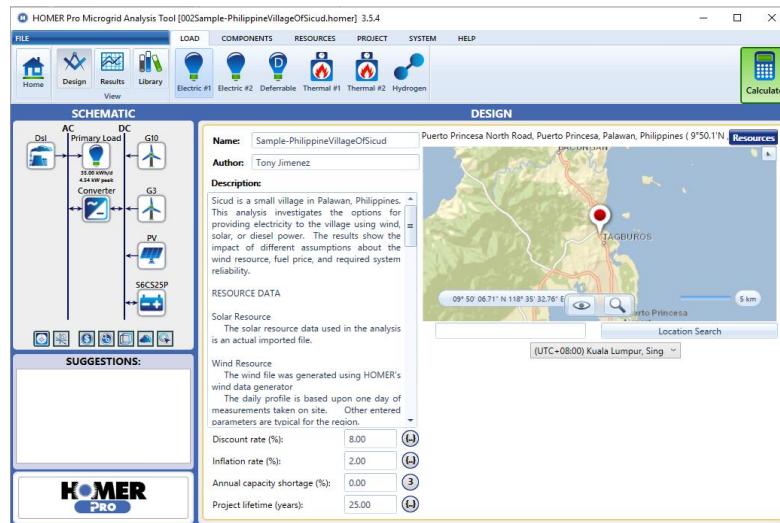
- Destaque para possibilidade de simular diversos tipos de sistemas de geração de energia em conjunto;
- Software Pago;
- Simulações com parâmetros mais genéricos por padrão, sem desenho 3D.

- **SAM (System Advisor Model):**

- Destaque para simulações de grandes usinas FV e possibilidade de integração com MATLAB e outros softwares FV;
- Software Gratuito;
- Usabilidade muito complexa, sendo indicado para uso mais científico.

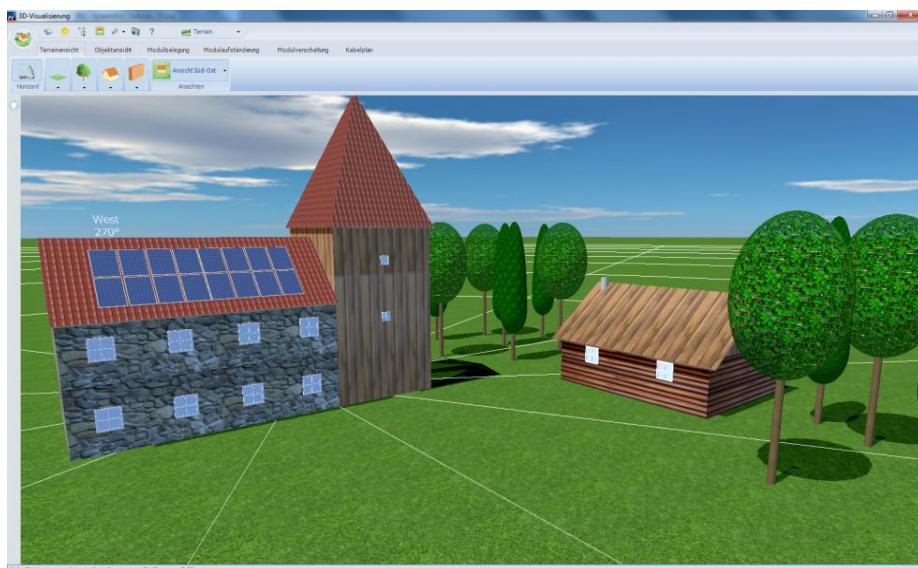
Diferença entre principais software FV

- HOMER: \$1500/Ano + Módulos extras...



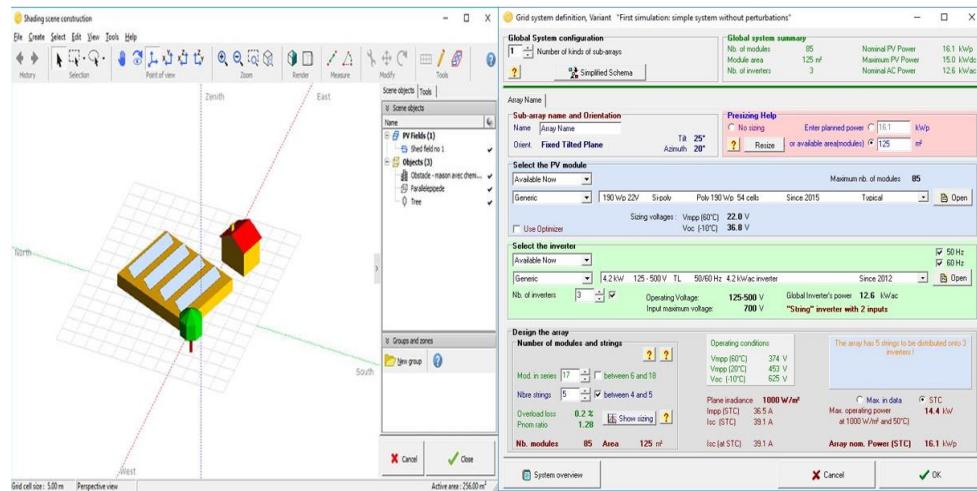
Diferença entre principais software FV

- PVSOL: \$878 + Atualizações anuais...



Diferença entre principais software FV

- PVsyst: \$789/Ano



Diferença entre principais software FV

Object	Description	HOMER	PV*SOL	PVsyst
System Simulations	Stand-alone (Off-grid)	✓	✓	✓
	Grid-Tie PV systems (On-grid)	✓	✓	✓
	Pump systems		✓	✓
	Hybrid systems Photovoltaic and Battery	✓	✓	
	Others Hybrid systems	✓		
Site Parameters	Photovoltaic System for Electric Vehicles		✓	
	Analysis of the terrain data			
	Weather database	✓	✓	✓
Building Physics	Temperature Settings of the Site	✓	✓	✓
	Building 3D modeling		✓	✓
	Image capturing/Geo maps		✓	✓
	Import maps image		✓	✓
Building Energy Performance	Shading analysis due to neighboring buildings	✓	✓	✓
	Monthly	✓	✓	✓
	Hourly	✓	✓	✓
Mounting Forms System	Ground	✓	✓	✓
	Roof	✓	✓	✓
	Roof integrated	✓	✓	✓
	Facade integrated			✓
Financial	Solar Tracker	✓	✓	✓
	Payback prediction	✓	✓	✓
	Direct Finance	✓	✓	✓
Emissions avoided	Loan/Lease/Mortgage	✓	✓	✓
	CO ₂	✓	✓	✓
Operating System Compatibility	Windows Vista, 7, 8 e 10	✓	✓	✓
	MACOS			
	Linux			
	Virtualization of Windows in Linux or MACOS with VirtualBox	✓		✓
	Virtualization of Windows in Linux with VMWare	✓	✓	✓
	Virtualization of Windows in Linux or MACOS with Parallels	✓	✓	✓

Exemplo de Situação em que é importante...



Situações em que se tem
que trabalhar com perdas!

Aqui já são erros de projeto...



Estudo de Caso da UNICAMP



534kWp



Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

13

Estudo de Caso da UNICAMP



Elementos	Modelo	Quantidade
Módulos	Canadian CS6K-	1248 (336.96
FV	270P	kWp)
Inversores	Ingecon Sun 55TL PRO	5

Ginásio FEF/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

14

Estudo de Caso da UNICAMP



Ginásio FEF/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

15

Estudo de Caso da UNICAMP



Sistema FEEC 1

Elementos	Modelo	Quantidade
Módulos FV	BYD 320P6D-36	174 (55.68 kWp)
Inversores	Fronius Symo 15.0-3 208	3
	Fronius Primo 8.2-1	1

FEEC/UNICAMP

Estudo de Caso da UNICAMP



FEEC/UNICAMP

Estudo de Caso da UNICAMP



Sistema FEEC 2		
Elementos	Modelo	Quantidade
Módulos FV	Canadian CS6K-270P	34 (9.18 kWp)
	BYD 320P6D-36	93 (29.76 kWp)
Inversores	Fronius Symo 15.0-3	2
	Fronius Primo 4.0-1	1
	Fronius Primo 8.2-1	1

FEEC/UNICAMP

Estudo de Caso da UNICAMP



Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

19

Estudo de Caso da UNICAMP



FEEC/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

20

Estudo de Caso da UNICAMP



ELEMENTOS	MODELO	QUANTIDADE
Módulos FV	Canadian CS6K-270P	144 (38.88 kWp)
Inversores	Fronius Symo 15.0-3	1
	Fronius Primo 8.2-1	2
	Fronius Primo 6.0-1	1

NIPE/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

21

Estudo de Caso da UNICAMP



NIPE/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

22

Estudo de Caso da UNICAMP



Elementos	Modelo	Quantidade
Módulos FV	Canadian CS6K-270P	15 (4.05 kWp)
Inversores	Fronius Primo 6.0-1	1

MUSEU/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

23

Estudo de Caso da UNICAMP



Elementos	Modelo	Quantidade
Módulos FV	Canadian CS6K-270P	85 (22.95 kWp)
Inversores	Fronius Symo 12.0-3 208-240	2

EXTECAMP/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

24

Estudo de Caso da UNICAMP



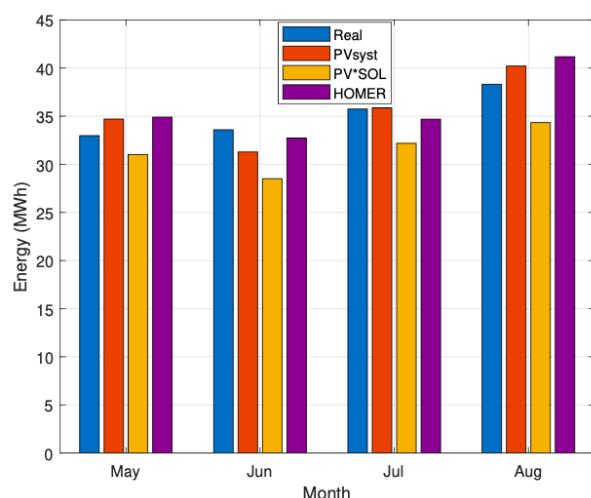
Elementos	Modelo	Quantidade
Módulos FV	Canadian CS6K-270P	140 (37.80 kWp)
Inversores	Fronius Symo 12.0-3 208-240	3

EXTECAMP/UNICAMP

Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

25

Estudo de Caso Ginásio da Unicamp

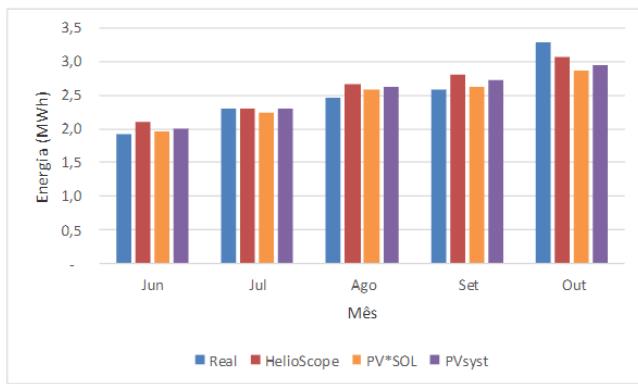


Month	Energy (MWh)		Error (%)
	Real	PVsyst	
January	48.62	42.60	12.38
February	38.92	41.98	-7.86
March	50.83	41.26	18.83
April	42.02	36.88	12.23
May	32.98	34.70	-5.22
June	33.59	31.28	6.88
July	35.74	35.87	-0.36
August	38.32	40.21	-4.93
September	41.76	40.41	3.23
October	52.67	42.98	18.40
November	48.70	47.94	1.56
December	49.47	45.05	8.93
Average	42.80	40.10	6.32
Total	513.62	481.16	-

Estudo de Caso Ginásio da Unicamp

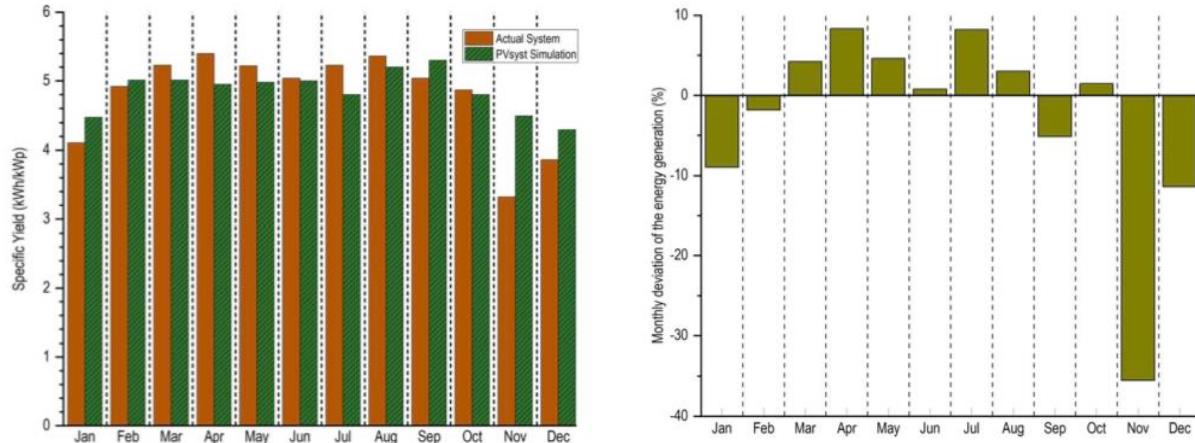
- HOMER foi mais otimista, PV*SOL mais conservador, e o PVsyst foi o mais preciso (isso pode ser diferente em outras cidades e sistemas);
- PV*SOL é mais fácil de ser utilizado, com poucos cliques para realização de uma simulação;
- Homer possui maior variedades de fontes de energia para simulações híbridas;
- PVsyst é o mais difícil para utilização, mas tem geralmente maior precisão e mais configurações.

Estudo de Caso Extecamp



SOFTWARE	MÊS	REAL	SIMULAÇÃO	ERRO
HelioScope	Junho	1,92	2,11	10,18 %
	Julho	2,30	2,31	0,52 %
	Agosto	2,47	2,67	7,89 %
	Setembro	2,59	2,81	8,62 %
	Outubro	3,30	3,07	-6,71 %
	Total	12,57	12,97	3,21 %
PV*SOL	Junho	1,92	1,96	2,51 %
	Julho	2,30	2,23	-2,79 %
	Agosto	2,47	2,58	4,29 %
	Setembro	2,59	2,62	1,31 %
	Outubro	3,30	2,88	-12,75 %
	Total	12,57	12,27	-2,36 %
PVsyst	Junho	1,92	2,01	4,80 %
	Julho	2,30	2,31	0,30 %
	Agosto	2,47	2,62	6,07 %
	Setembro	2,59	2,72	5,06 %
	Outubro	3,30	2,94	-10,71 %
	Total	12,57	12,60	0,21 %

Estudo de Caso University of Kashan (12 kWp)



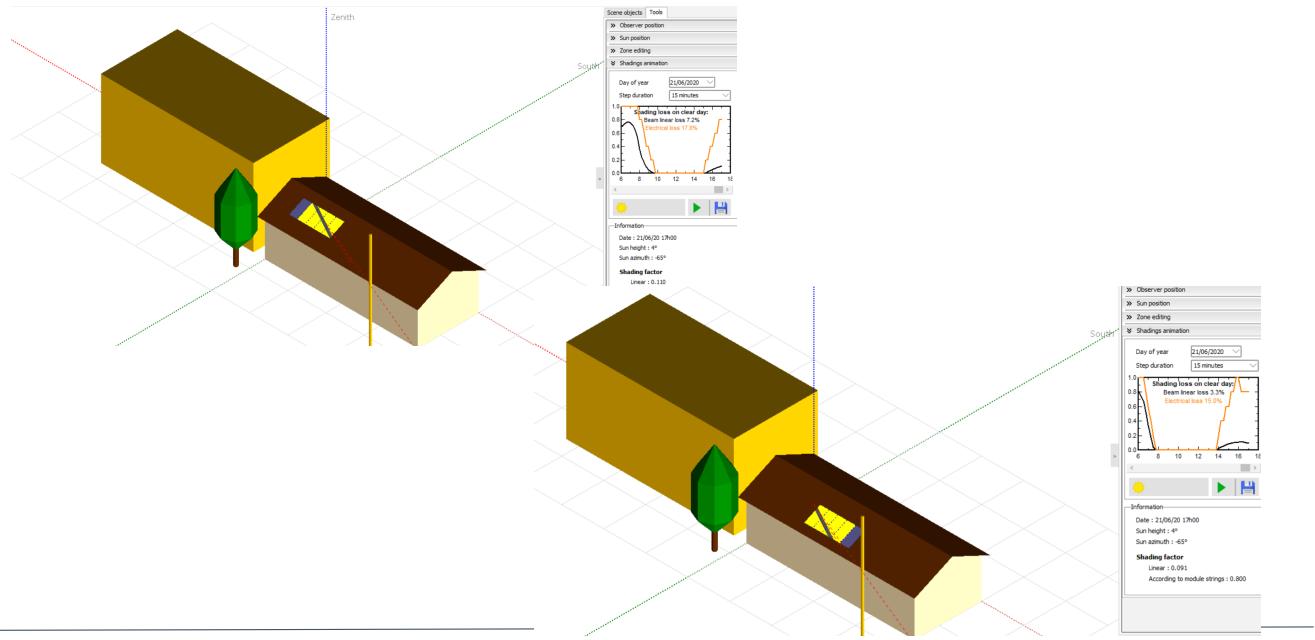
[11]

Estudo de Caso Sri Lanka (1 MW)

Month	Actual Energy output (MWh)	Simulated (P90) Using MT8 (MWh)	Error compared to actual
December	90.92	103.8	14.2%
January	111.28	125.7	13.0%
February	132.42	118.8	-10.3%
March	138.04	140.1	1.5%
April	135.69	128.7	-5.2%
May	119.1	111.9	-6.0%

[12]

Estudo de Caso de Otimizadores Tigo com PVsyst



Não é permitida a reprodução do material e gravação do curso - www.lesfmv.com - Prof. Dr. João Lucas de Souza Silva

31

Estudo de Caso de Otimizadores Tigo com PVsyst

Resultado sem sombras: 3556 kWh/Ano

Resultado com sombras: 3264 kWh/Ano

Resultado com organização dos módulos FV no telhado: 3400 kWh/Ano

Resultado com organização dos módulos FV e Tigo: 3551 kWh/Ano



Ganho com o otimizador no primeiro ano em relação ao sistema com sombras, 4,44%. Esse ganho aumenta com a degradação dos módulos.

Considerações para Dimensionamento

- A ideia da aula é mostrar **quanto** um sistema fotovoltaico para consumidor do Grupo B (tensão inferior a 2,3 kV), com base em uma conta de energia real, irá **produzir nas diferentes formas de dimensionamento**;
- Na prática seria necessário também testar diferentes arquiteturas fotovoltaicas, avaliar perdas, modelos de módulos fotovoltaicos, melhor forma de conectar os módulos com base na arquitetura (distribuição das *strings*), impactos do sombreamento, impactos da temperatura no conversor, proteções, avaliação econômica de cada tipo de arquitetura, testar diferentes bases solarimétricas, e entre outros;

Considerações para Dimensionamento

- O bom projetista fotovoltaico irá saber (**com software e experiência**) a hora certa de utilizar **cada tecnologia**, e isso vai ser um fator para o sucesso de suas instalações fotovoltaicas;
- Quem utiliza software consegue **estimar a geração de energia mais próxima do real** e oferecer garantias até um certo nível de entrega;
- O projetista limitado, irá sempre recorrer a um kit fotovoltaico com base em uma potência e utilizar, sem realizar refinamentos, e muitas vezes sem uso do software. Isso pode ser um problema, que aumenta em conjunto com a potência do sistema.

Dimensionamento Manual



Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)					
Consumo Ativo(kWh)-TUSD	405,00	0,51397283	208,15					
Consumo Ativo(kWh)-TE	405,00	0,34053887	137,91					
Acréscimo Bandeira VERMELHA			19,98					
Contrib. Ilum. Pública Municipal			37,04					
Seguro Proteção Familiar - 0800-200-9032			3,82					
Compensação DMIC 10/20			1,47-					
TOTAL DA FATURA			405,43					
INFORMAÇÕES DE TRIBUTOS								
ICMS		PIS						
BASE DE CÁLCULO	%	VALOR DO IMPOSTO	BASE DE CÁLCULO	%	VALOR DO IMPPOSTO	BASE DE CÁLCULO	%	VALOR DO IMPPOSTO
366,04	27,00	98,83	267,20	1,35	3,60	267,20	6,23	16,64

Tarifas Aplicadas		HISTÓRICO DO CONSUMO	
Consumo Ativo(kWh)-TUSD	0,34676000	kWh	405
Consumo Ativo(kWh)-TE	0,22975000		430
			260
			170
			137
			223
			274
			323
			339
			321
			321
			304
			350
			369

Casa, com inclinação de telhado de 25°, orientação norte, Cidade: Paulo Afonso - BA

Dimensionamento Manual



- Verificar a potência FV necessária para essa fatura, com base no consumo médio ajustado e descontar ou não a demanda mínima (30 kWh instalações monofásicas, 50 kWh instalações bifásicas e 100 kWh instalações trifásicas);

Mês	kWh
Janeiro	350
Fevereiro	304
Março	321
Abril	339
Maio	323
Junho	274
Julho	223
Agosto	137
Setembro	170
Outubro	260
Novembro	430
Dezembro	405
Média	295

Metodo 1:

$$\text{Consumo Médio} = \frac{\text{Janeiro} + \text{Fevereiro} + \text{Março} + \text{Abril} + \text{Maio} + \text{Junho} + \text{Julho} + \text{Agosto} + \text{Setembro} + \text{Outubro} + \text{Novembro} + \text{Dezembro}}{12}$$

$$\text{Consumo Médio Ajustado} = \text{Consumo Médio} - \text{Taxa de Demanda}$$

$$\text{Consumo Médio Ajustado} = 295 - 30\text{kWh} = 265\text{ kWh}$$

$$\text{Consumo Anual} = 265 * 12 = 3180\text{ kWh} = \frac{3180}{1000} = 3,18\text{ MWh}$$

Metodo 2:

$$\text{Consumo Anual Puro} = 295 * 12 = 3540\text{ kWh} = \frac{3540}{1000} = 3,54\text{ MWh}$$

Dimensionamento Manual

1. Achar a irradiação, pode usar o CRESESB

Irradiância de Paulo Afonso é $5,54 \text{ kWh/m}^2\text{dia} * 365 = 2022,1 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$

2. Potência FV

$$Potência_{FV} = \frac{\left(\frac{Energia\ Anual}{Irradiância\ anual} \right)}{Fator\ de\ performance}$$

$$Potência_{FV} = \frac{\left(\frac{3540\text{ kWh}}{2022,1\text{ kWh/m}^2} \right)}{1\text{ kW/m}^2} = 2,05\text{ kW}$$

3. Número de Placas

$$Num = \frac{Potência_{FV}}{Potência_uma_placa} = \frac{2,05}{0,405} = 5,06$$

Dimensionamento Manual

4. Inversor

Potência do Inversor FV = Número de módulos * Potência de um módulo * 75%

$$Potência_{inv} = 6\ placas * 0,405\text{ kW} * 0,75 = 1,82\text{ kW}$$

Pré-Dimensionamento no PVsyst

- Sistema de 2.1 kWp;
- Quantidade de Módulos, supondo que meu fornecedor tem módulo de 405 Wp:

$$\text{Qty. of Modules FV} = \frac{\text{Total Power}}{\text{Power of one module FV}} = \frac{2.1\text{kWp} * 1000}{405} = \\ 5,18 \text{ modules}$$

Ou 6 módulos considerando um número inteiro.

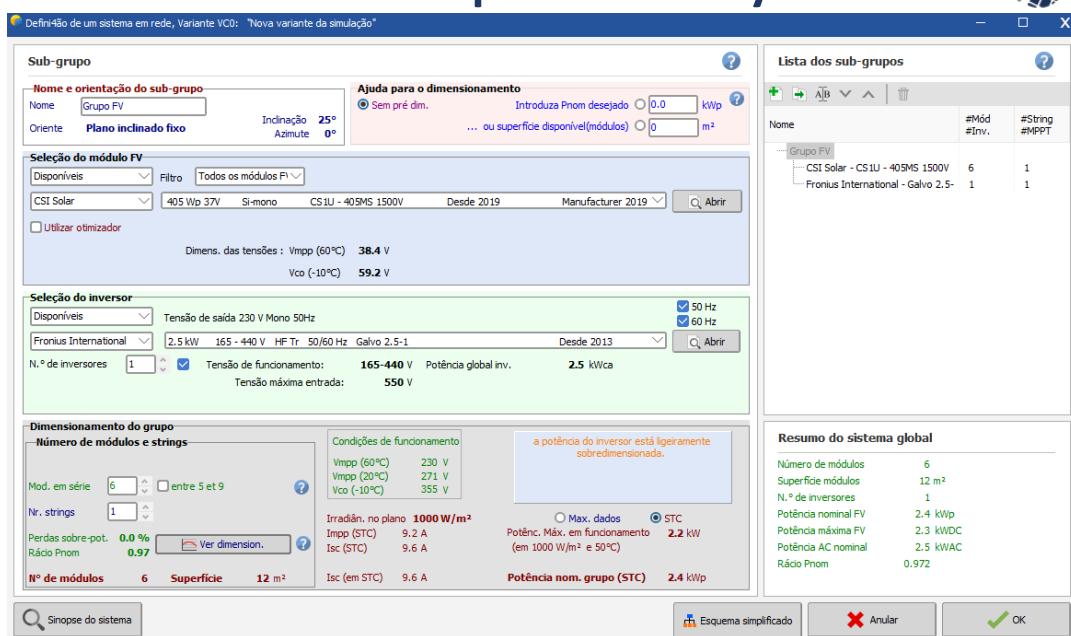
- Inversor FV:

$$\text{Power of Inverter FV} = \text{Number of modules} * \text{Power of one module} * 75\% \\ \text{Power of Inverter FV} = 6 * 405 * 75\% = 1822,5 \text{ W} = \frac{1822,5}{1000} \cong 1,8 \text{ kW.}$$

Logo, tem-se um kit de 6 módulos FV de 405 W, e um inversor na faixa de 1,8 kW.

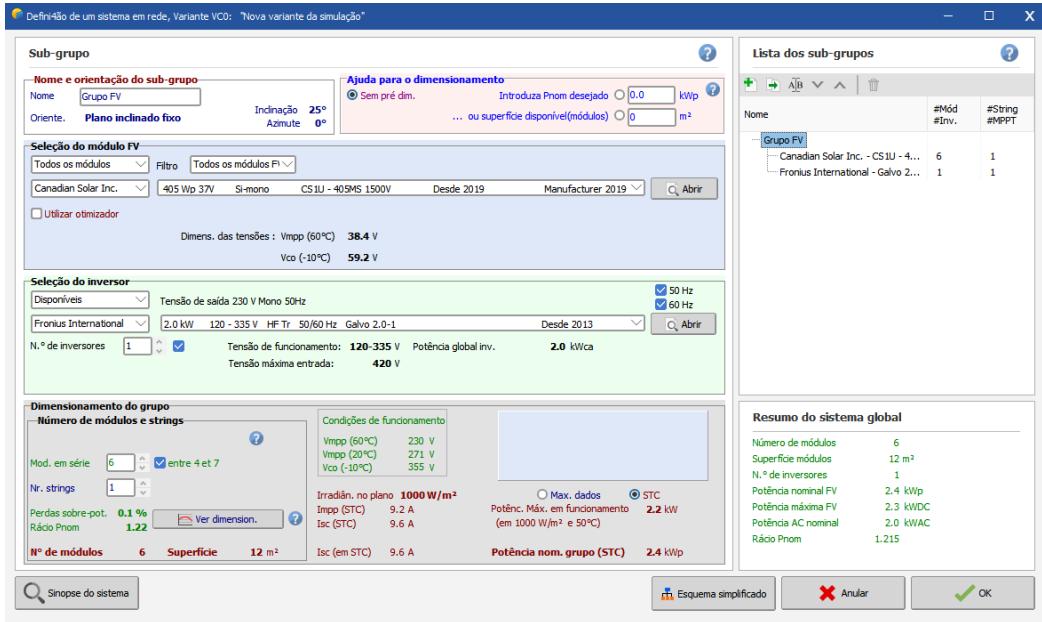
Posteriormente, é interessante simular o kit FV no modo completo para mostrar ao cliente a energia final que o sistema irá produzir.

Dimensionamento Completo no PVsyst



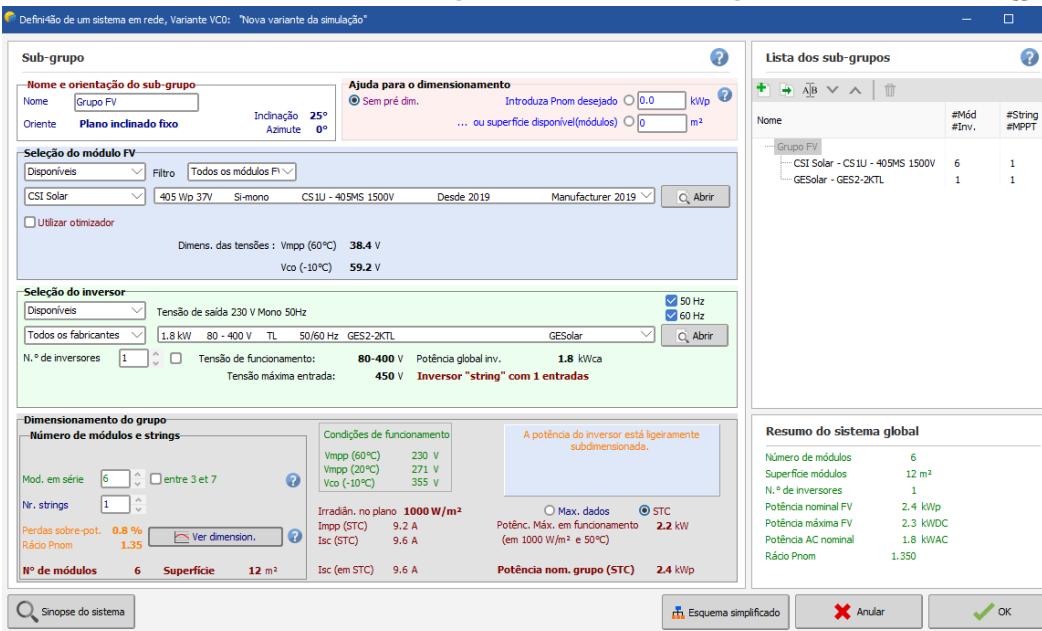
Nome	#Mód.	#Inv.	#String	#MPPT
Grupo FV	6	1		
CSI Solar - CS1U - 405MS 1500V	6	1		
Fronius International - Galvo 2.5-	1	1		

Dimensionamento Completo no PVsyst



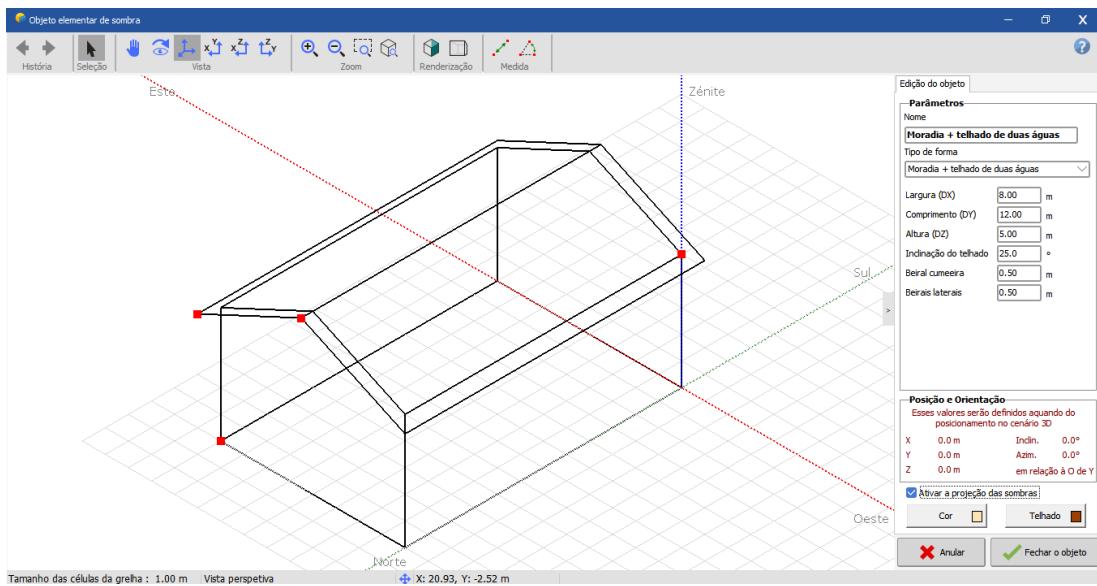
The screenshot shows the 'Sub-grupo' configuration window. It includes sections for 'Nome e orientação do sub-grupo' (Name: Grupo FV, Orientation: Plano inclinado fixo, Inclination: 25°, Azimuth: 0°), 'Ajuda para o dimensionamento' (Help for dimensioning), 'Seleção do módulo FV' (Select module: Canadian Solar Inc., 405 Wp 37V Si-mono CSIU - 405MS 1500V, Manufacturer: 2019), and 'Seleção do inversor' (Select inverter: Fronius International, 2.0 kW, 120-335 V, HF Tr 50/60 Hz, Galvo 2.0-1, Manufacturer: 2013). The 'Dimensionamento do grupo' section shows 6 modules in series and 1 string, with conditions for Vmpp (60°C: 38.4 V, 20°C: 37.1 V, -10°C: 35.5 V) and Isc (STC: 9.6 A). The 'Resumo do sistema global' section provides a summary of the system parameters.

Dimensionamento Completo no PVsyst

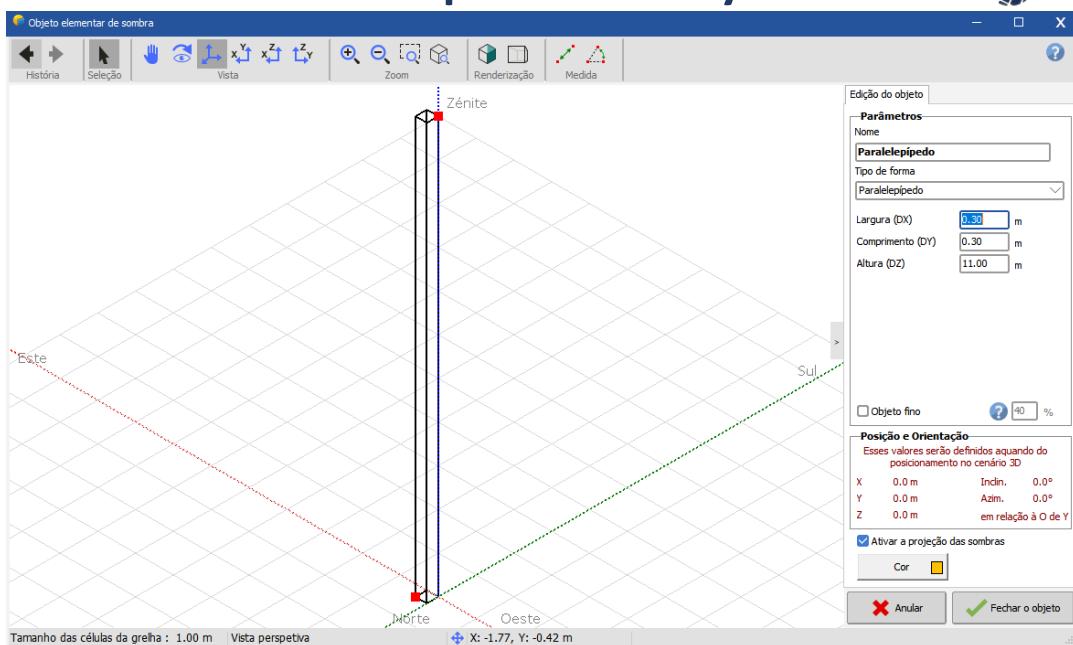


The screenshot shows the 'Sub-grupo' configuration window with different component selection. The 'Seleção do módulo FV' section now lists 'CSI Solar' and 'GESolar'. The 'Seleção do inversor' section lists 'GESolar' with parameters: 1.8 kW, 80-400 V, TL, 50/60 Hz, GES2-2KTL. The 'Dimensionamento do grupo' section remains similar to the previous screenshot, showing 6 modules in series and 1 string, with conditions for Vmpp (60°C: 38.4 V, 20°C: 37.1 V, -10°C: 35.5 V) and Isc (STC: 9.6 A). The 'Resumo do sistema global' section provides a summary of the system parameters.

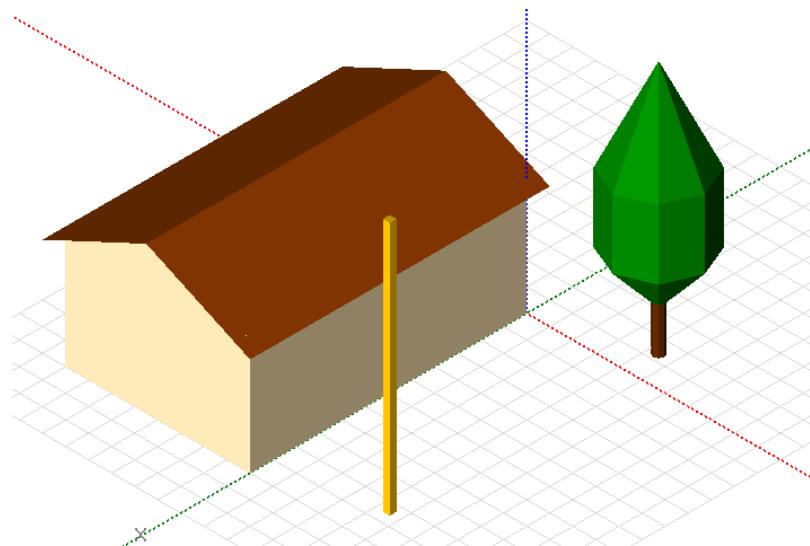
Dimensionamento Completo no PVsyst



Dimensionamento Completo no PVsyst



Dimensionamento Completo no PVsyst



Dimensionamento Completo no PVsyst

- **Preços;**
- Módulo FV: R\$2,50/Wp;
- Suporte: R\$0,2/Wp;
- Inversor: R\$1,50/Wp;
- Projeto e Engenharia: R\$0,3/Wp;
- Instalação: R\$0,2/Wp;
- Lucro: R\$0,3/Wp;
- BOS (Balance of System, são os componentes restantes, como proteção e cabos): R\$0,2/Wp.
- Manutenção R\$ 250,00/Ano...
- Inflação 7%
- Taxa de Desconto 10%

Considerações Finais

- Observamos que em um sistema fotovoltaico existem muitas variáveis e só o software pode estimar as perdas e considerar quase tudo que temos na prática;
- Quanto mais considerações forem realizadas no software (mais perdas inseridas, sombras...), o resultado da modelagem vai ser mais próximo do real;
- Vários refinamentos são necessários em uma simulação, essa foi somente um exemplo para uma palestra, e que já é bem melhor que calcular na mão ou planilhas;
- Sistemas maiores o impacto é muito maior.

O bom projetista tem que conhecer os softwares, e tecnologias para realizar diferentes combinações e obter o sistema ótimo, isso garante menor *payback*, maior lucro, e maior segurança!

Referências

- [1] E. Lorenzo, "Energy Collected and Delivered by PV Modules," Hand- book of Photovoltaic Science and Engineering, 2005. 984–1042 p. ISBN 9780470721698.
- [2] Features of HOMER, <https://www.homerenergy.com/products/pro/> (current sep. 05, 2019)
- [3] Features of PVSol, <https://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium> (current sep. 05, 2019)
- [4] Features of PVsyst, <https://www.pvsyst.com/> (current sep. 05, 2019)
- [5] J. L. de Souza Silva, T. S. Costa, K. B. de Melo, E. Y. Sakô, H. S. Moreira and M. G. Villalva, "A Comparative Performance of PV Power Simulation Software with an Installed PV Plant," 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Buenos Aires, Argentina, 2020, pp. 531-535, doi: 10.1109/ICIT45562.2020.9067138.

Referências

- [6] Minhacasasolar. Inversor Fronius. Disponível em:
<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-fronius-25-0kw-grid-tie-eco-light-25-0-79189>. Acesso em 09/03/20.
- [7] SolarEdge Technologies, "Power Optimizer," 2018.
- [8] Tigo, "TS4 Platform One Smart Platform," 2018.
- [9] Solcentral. Enphase. Disponível em:
<http://www.solcentral.com.br/produtos/inversores/enphase/>. Acesso em 09/03/20.
- [10] MACHADO, G. M. V. ; SILVA, J. L. S. ; MOREIRA, H. S. ; VARGAS, T. N. ; PRYM, G. C. S. ; LIMA, G. P. ; VILLALVA, M. G. . Estudo de Caso de um Sistema Fotovoltaico instalado no Campus da Unicamp em diferentes Softwares de Simulação. Revista Brasileira de Energia Solar, v. XI, p. 124, 2020.
- [11] M. Nazififard, H. Hashemi-Dezaki and K. Nazififard, "Comparing Actual Measurement and PVsyst Simulation Results for Energy Generation of Microgrid-Connected PV Systems," 2023 13th Smart Grid Conference (SGC), Tehran, Iran, Islamic Republic of, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SGC61621.2023.10459295.

Referências

- [12] G. Viduruwan and D. K. A. Induranga, "Validation of Meteonorm 8 for energy estimation of Solar Power Plants in Sri Lanka, Using PVsyst Software," 2021 3rd International Conference on Electrical Engineering (EECon), Colombo, Sri Lanka, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/EECon52960.2021.9580960.



Meu Obrigado!



Mais informações:
www.lesfmv.com
www.cursoolarsunicamp.com