



IEE/USP – 23/05/2022

Minirredes com Geração Híbrida

Prof. Dr.-Ing. João Tavares Pinho

- **Professor Titular da Universidade Federal do Pará – UFPA (aposentado)**
- **Fundador do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado – LEA/UFPA**
- **Fundador do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas – GEDAE/UFPA**
 - **Pesquisador Colaborador do GEDAE**
- **Pesquisador Colaborador do Instituto de Energia e Ambiente – IEE/USP**

GRUPO DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS



FACULDADE DE ENGENHARIAS ELÉTRICA E BIOMÉDICA - FEEB

INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA



GRUPO DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

- **Fundado em novembro de 1994 na Universidade Federal do Pará**
- **Atividades em Energia Solar, Eólica, Sistemas Híbridos, Eficiência Energética e Qualidade de Energia**
- **Atividades de ensino, pesquisa, desenvolvimento e implementação de projetos, consultoria, etc.**
- **Conta atualmente com cerca de 30 membros (5 professores, 1 técnico, estudantes de pós-graduação, graduação e segundo grau)**
- **Foi o grupo líder do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia de 2009 a 2017**



PUBLICAÇÕES

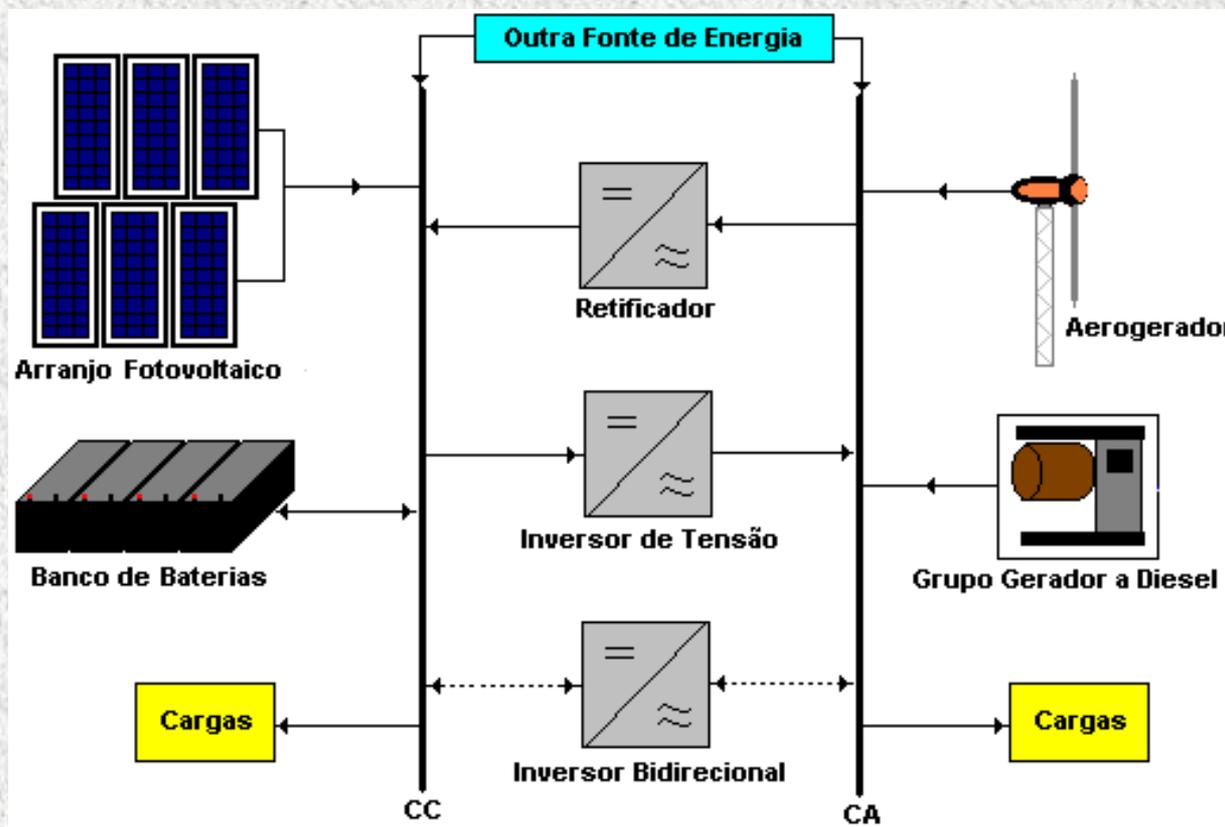


gedae.ufpa.br/index.php/publications/livros/147-sistemas-hibridos-solucoes-energeticas-para-a-amazonia



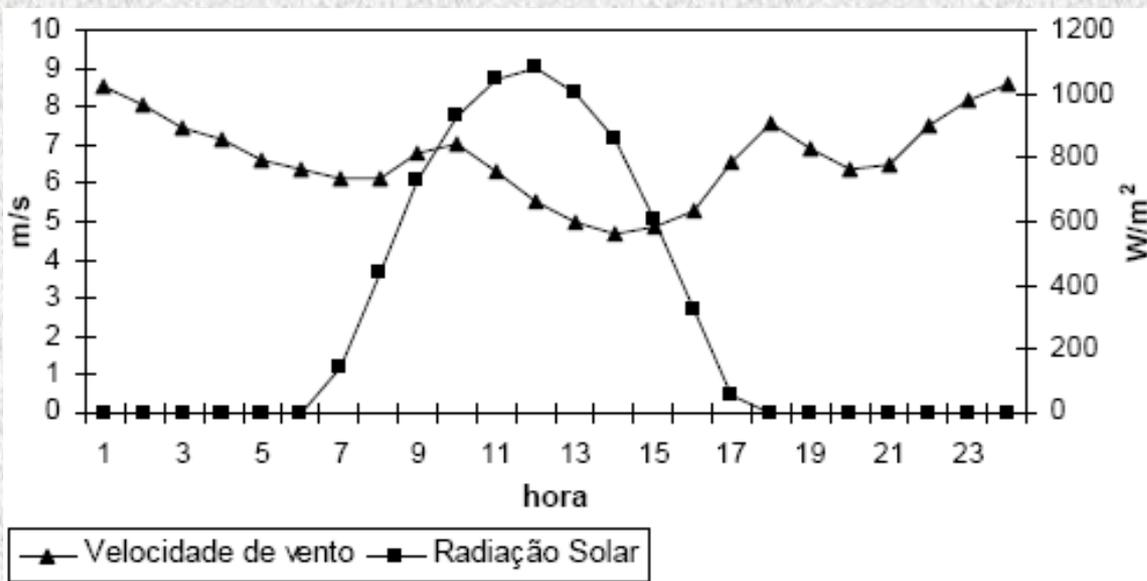
O que são sistemas híbridos?

Sistema híbrido é aquele que utiliza mais de uma fonte de energia para gerar e fornecer energia elétrica, de forma otimizada e com custos mínimos, a uma carga ou uma rede elétrica, isolada ou interligada.

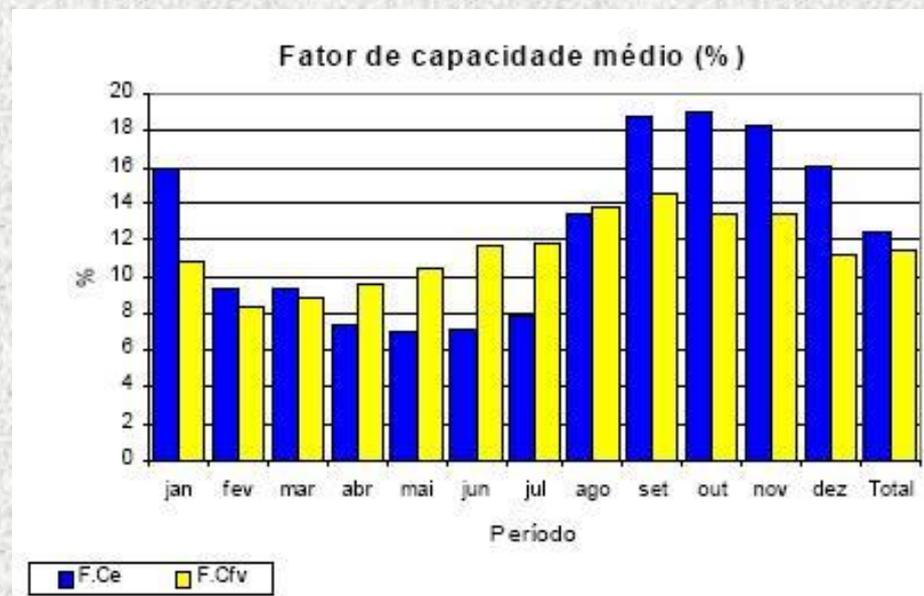




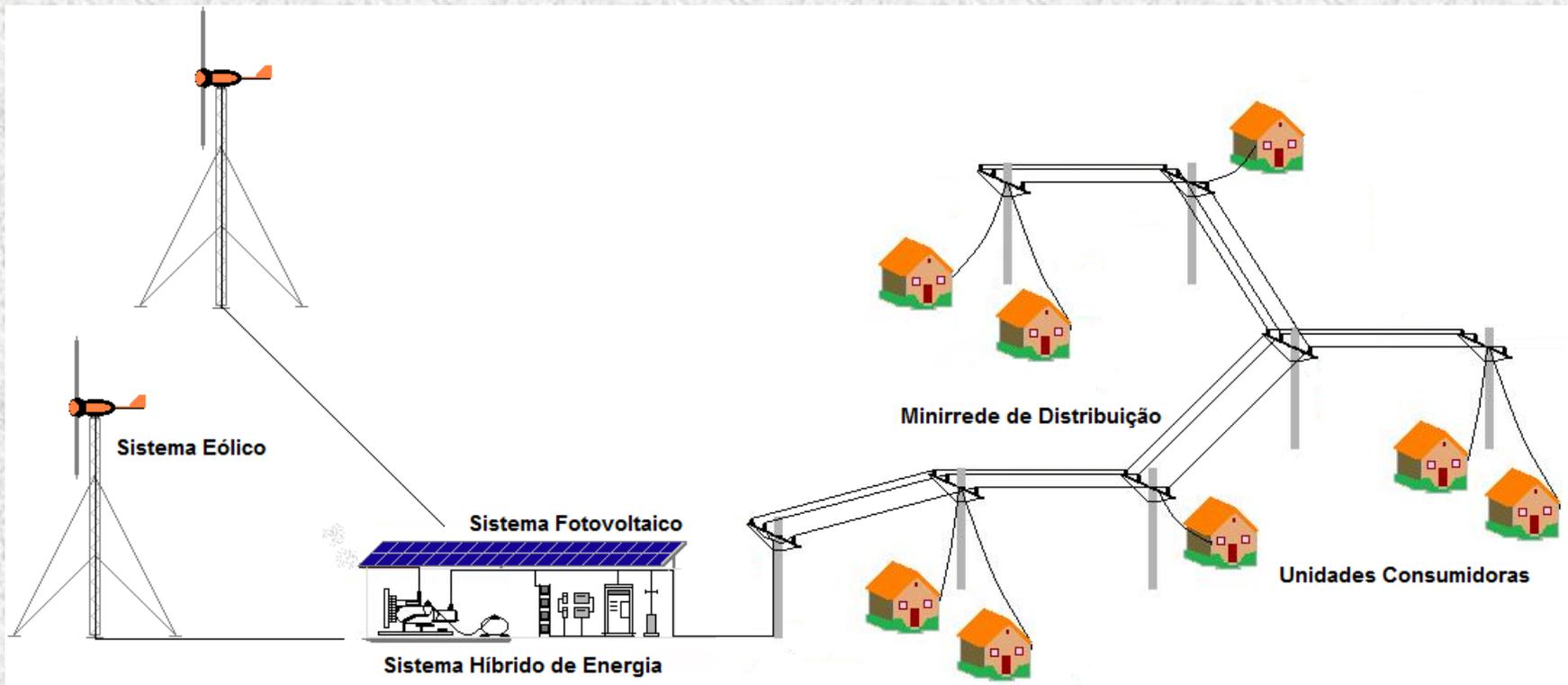
Complementaridade entre fontes



Complementaridade entre as fontes solar e eólica (média mensal em localidade/PA)

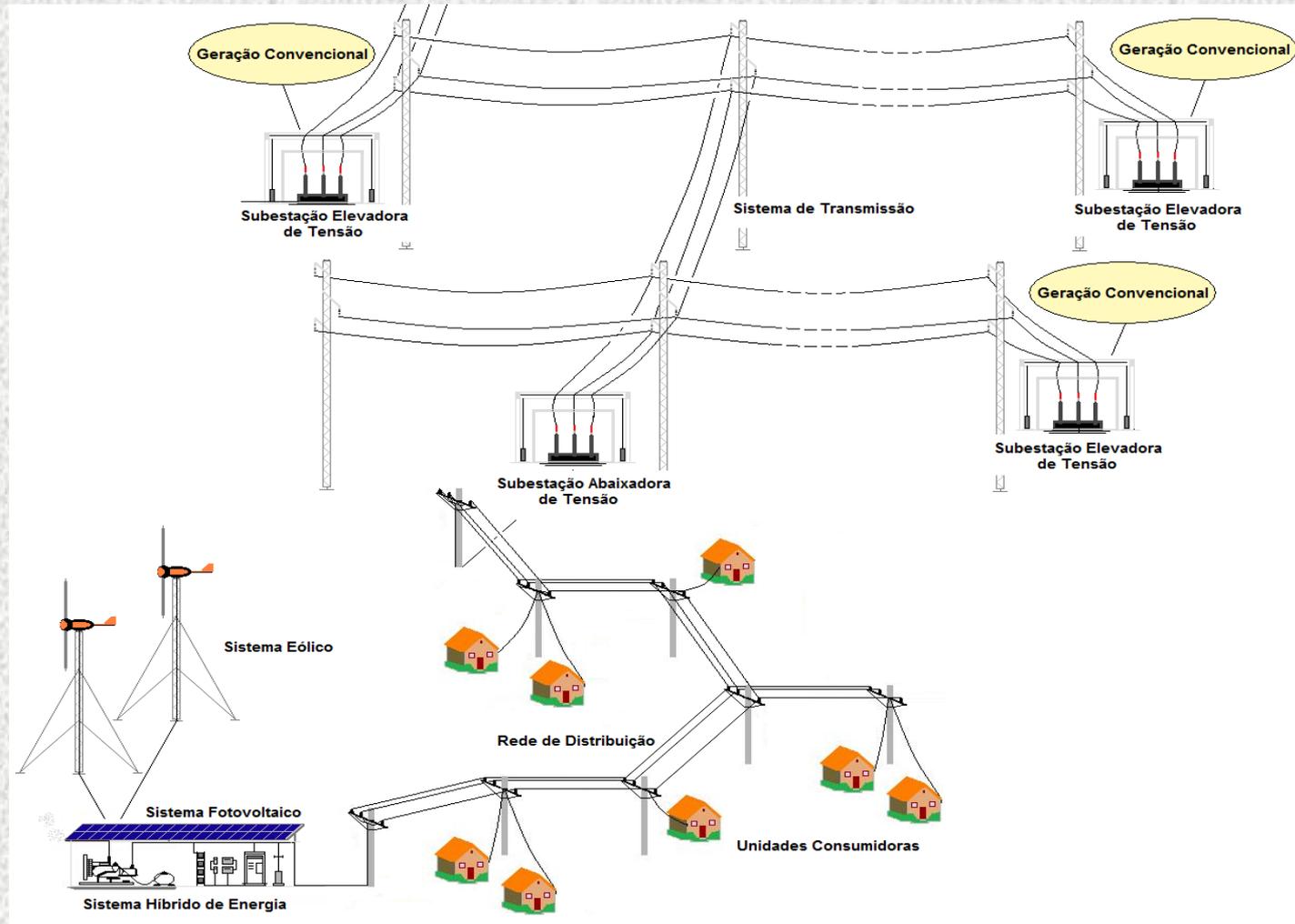


- Interligação com a rede elétrica convencional
- **Sistemas isolados**



Classificações

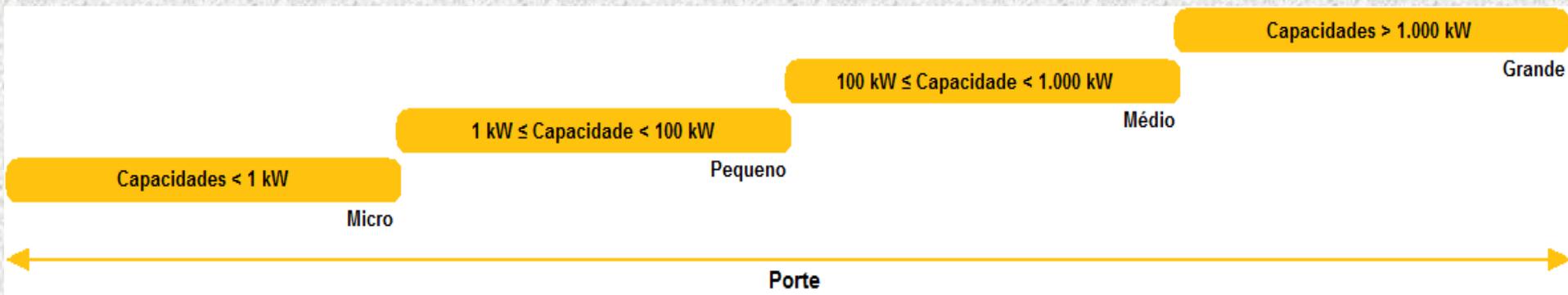
- Interligação com a rede elétrica convencional
- **Sistemas interligados**





Classificações

- Porte
 - Micro
 - Pequeno
 - Médio
 - Grande



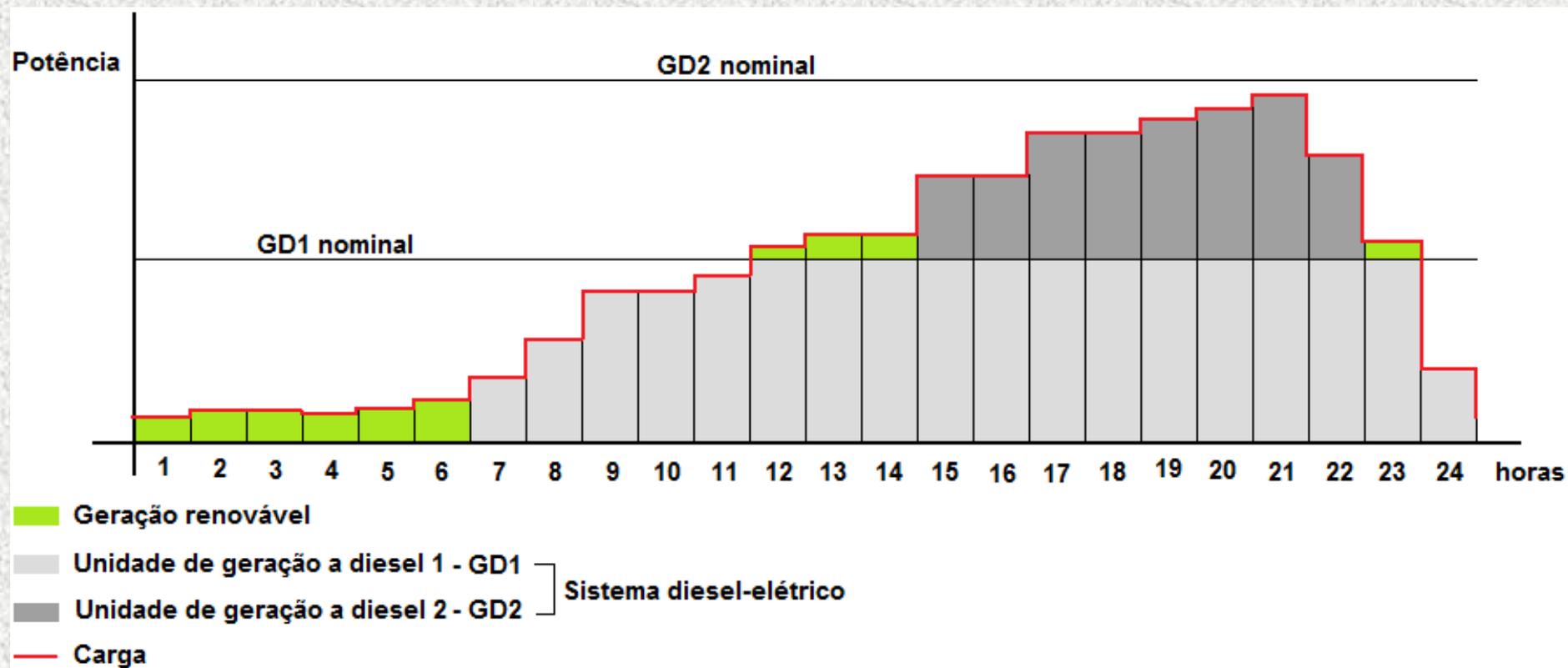
Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI

Distribuição em BT até 100 kW (RN Aneel 493/2012)



Classificações

- Prioridade de Uso das Fontes de Energia
- Sistemas baseados no recurso não renovável

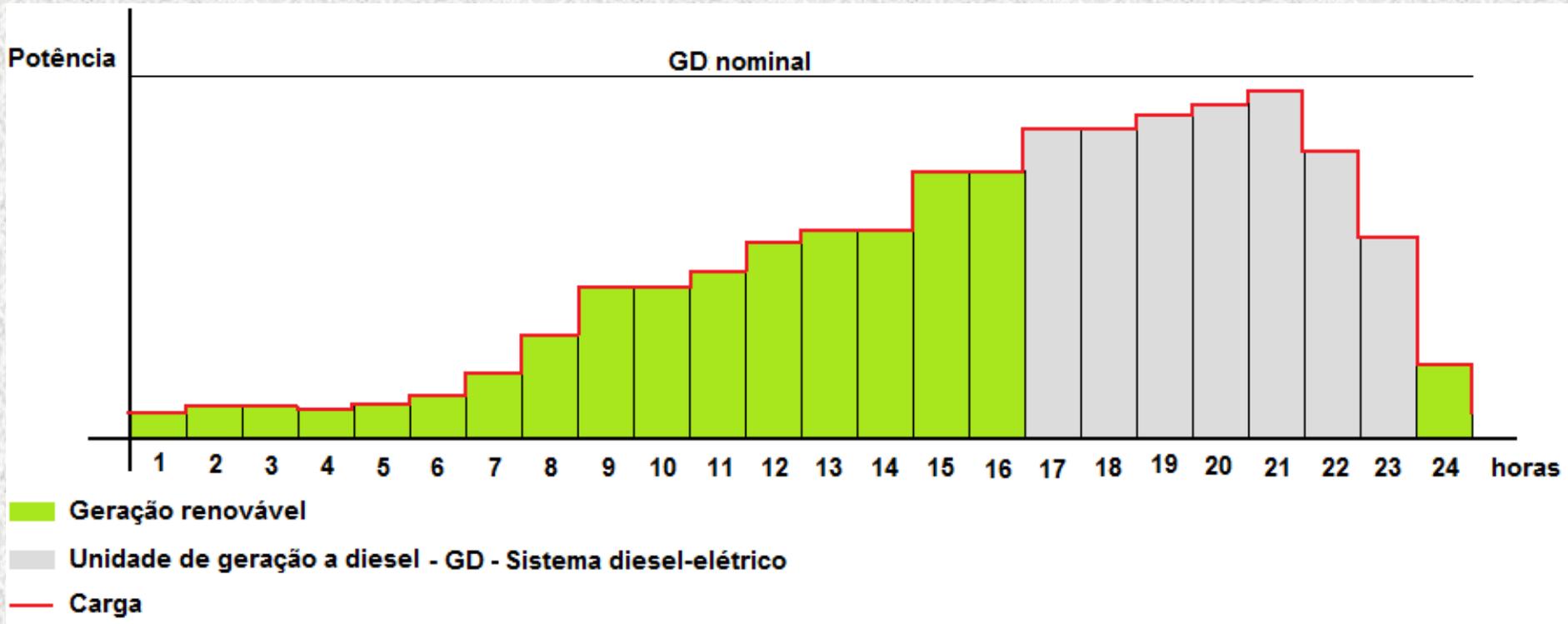


A geração proveniente das fontes renováveis de energia é utilizada apenas para o suprimento da carga no período da baixa demanda, na qual a unidade de geração a diesel operaria com baixa eficiência, ou em complementação à geração diesel



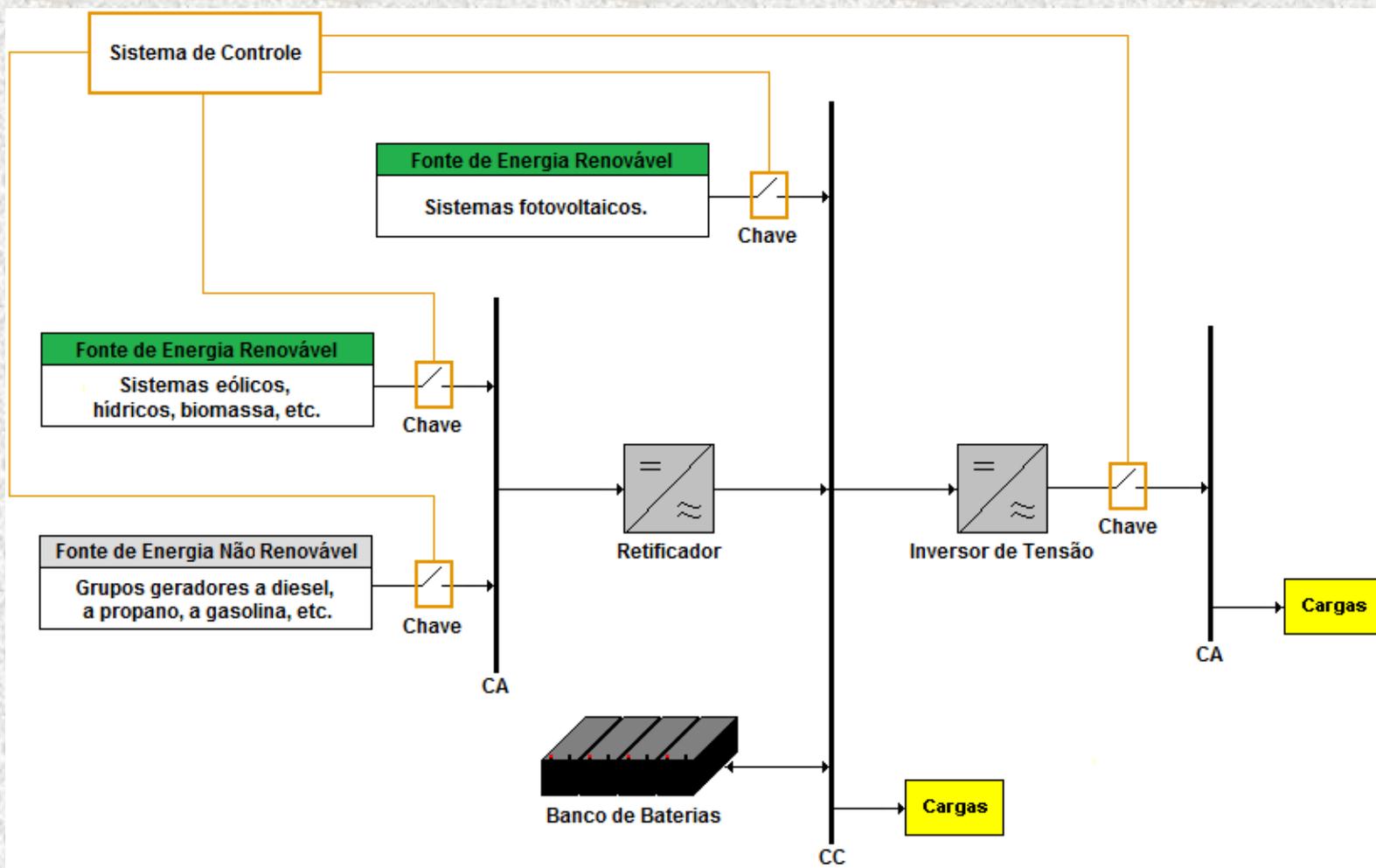
Classificações

- Prioridade de Uso das Fontes de Energia
- Sistemas baseados no recurso renovável



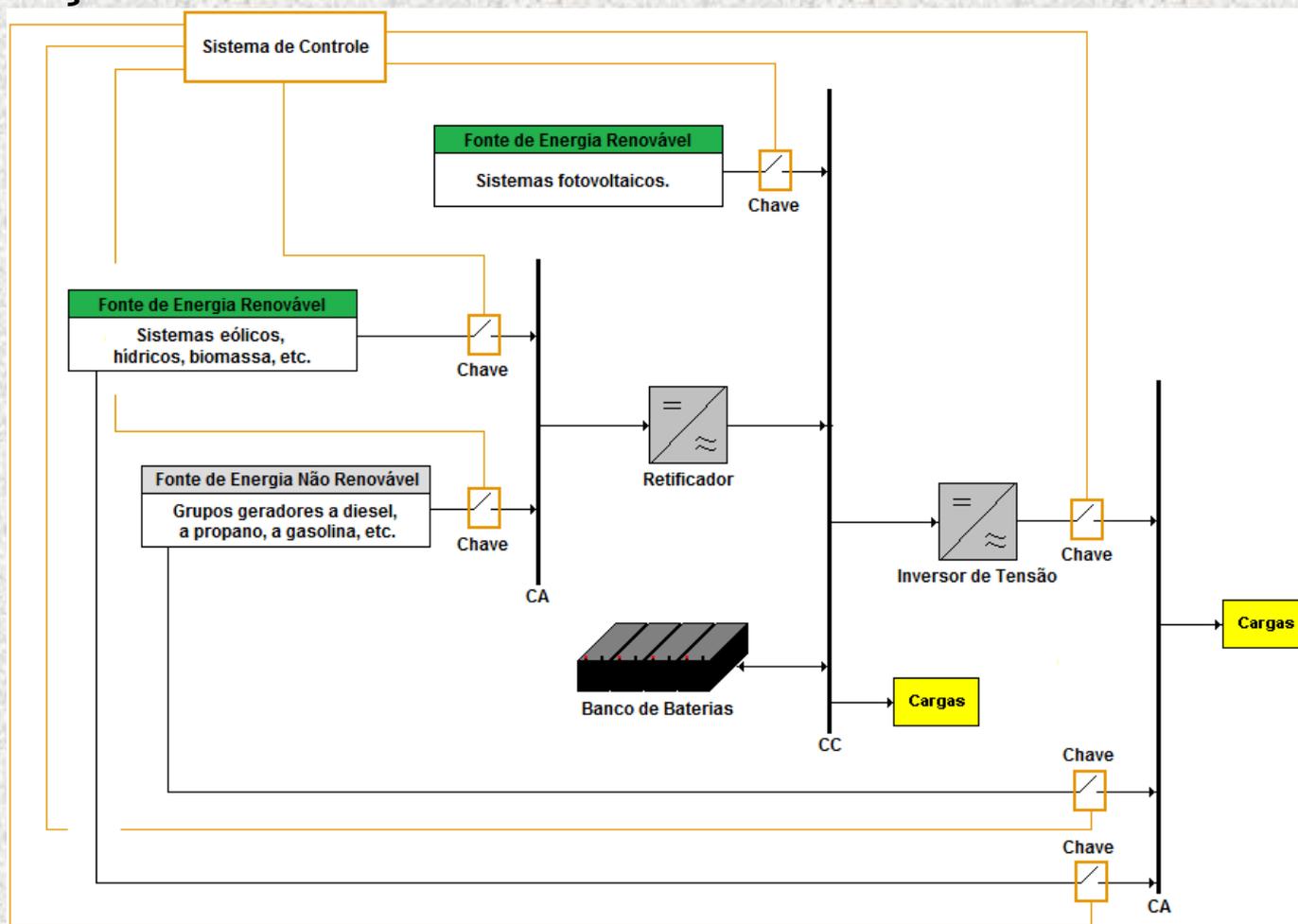
A unidade de geração a diesel serve apenas como um sistema de reserva, que supre a carga em condições de baixa geração renovável e alta demanda

- Configuração: **Série**



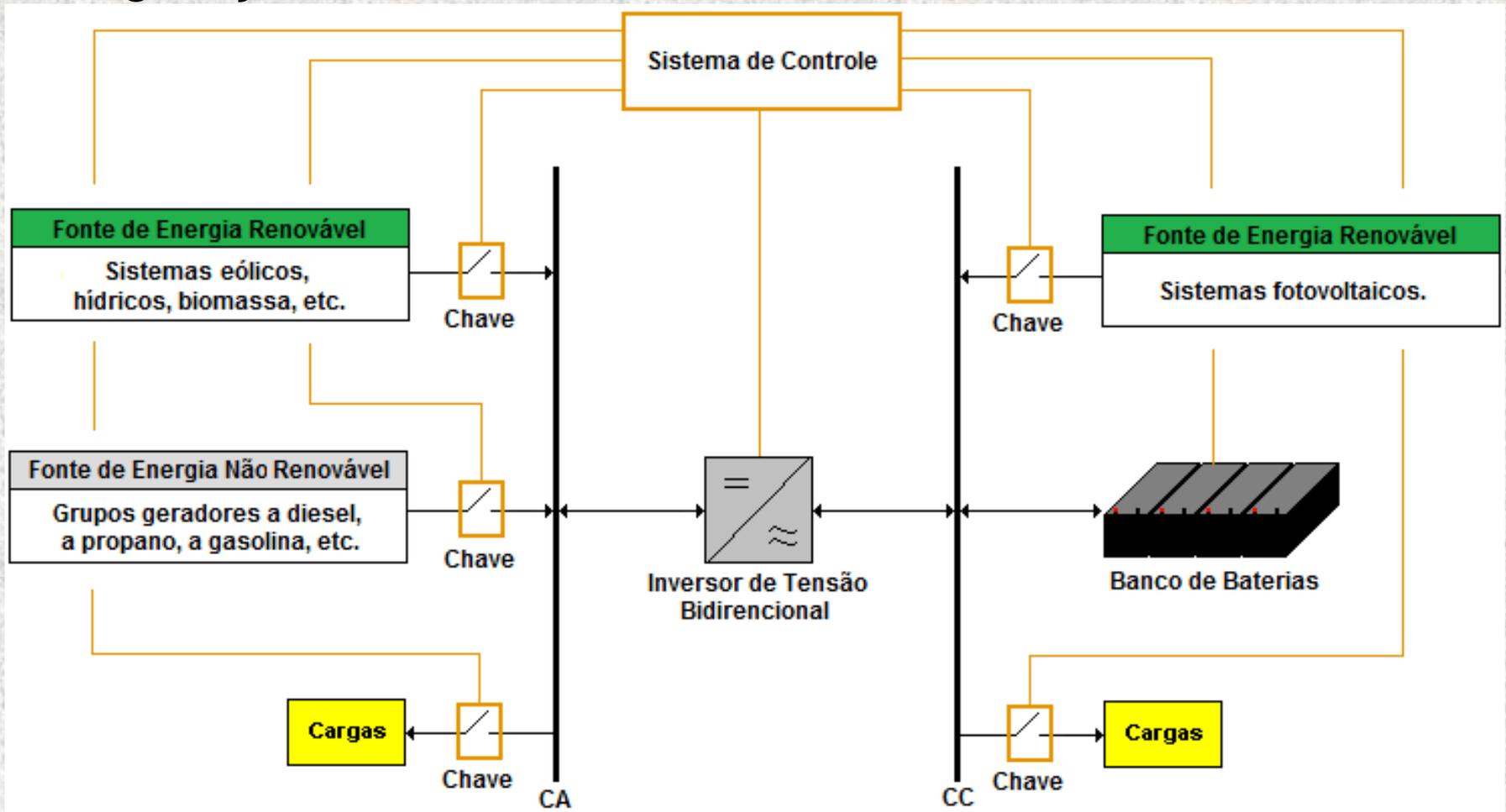
O transporte da energia para as cargas CA é realizado em sequência: as fontes de energia, renováveis ou não, são usadas para carregar o banco de baterias

- Configuração: **Chaveado**



O banco de baterias é carregado pelas fontes renováveis, ou não, a carga CA pode ser suprida diretamente pelo gerador a diesel ou pelo inversor de tensão; porém, não pelos dois ao mesmo tempo

- Configuração: **Paralelo**



Uma ou mais fontes podem suprir as cargas CA nos períodos de demanda baixa e média, bem como duas ou mais em paralelo podem fazê-lo nos períodos de demanda máxima



Ferramentas computacionais

Sistema Híbrido FV-Eólico-Diesel Isolado - Programa AVES-H

Componentes Sair

Projeto: **Caso-teste 1**

Tensão Nominal (Vcc): 48

Dias de autonomia: 0.25

Módulos em paralelo: 5

Módulos em série: 4

Total de Módulos: 20

Total de Turbinas: 2

Total de Grupos Geradores: 1

Total de Inversores: 1

Baterias em paralelo: 2

Baterias em série: 4

Total de Baterias: 8

Total de Controladores: 1

Custo dos Componentes (R\$)

Módulo(s) FV: 60000.00

Turbina(s) Eólica(s): 16000.00

Grupo(s) Geradore(s): 10000.00

Inversor(es): 20000.00

Bateria(s): 4000.00

Controlador(es): 800.00

Grupo Gerador 8.00 kWe

Potência FV necessária (kW): 3.53

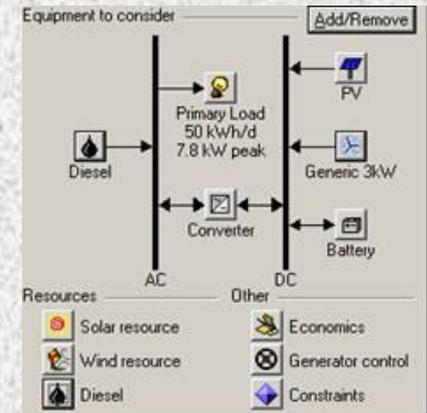
Capacidade do banco de baterias (kWh): 5.44

Potência mínima do inversor (kW): 4.80

Capacidade mínima do controlador (A): 39.80

Atualizar Avançar Voltar

AVES-H



Sensitivity Results Optimization Results

Sensitivity variables

Wind Speed (m/s) 5 Diesel Price (\$/L) 0.6

Double click on a system below for simulation results

	PV (kW)	G1	G2	Batt. (kWh)	Conv. (kW)	Disp. Stage	Total Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (\$)	Dif (hrs)
			2	8	48	8 CC	\$ 45,473	\$ 103,138	0.529	0.29	4,393	1,772
	4			8	24	4 CC	\$ 41,037	\$ 103,451	0.531	0.23	5,371	2,068
	1		1	8	48	8 CC	\$ 39,273	\$ 103,873	0.533	0.11	5,450	2,202
				8	48	8 CC	\$ 19,073	\$ 107,685	0.553	0.00	8,150	3,216
	12	2		8	128	8 CC	\$ 116,373	\$ 140,625	0.722	1.00		
				8		CC	\$ 7,000	\$ 140,642	0.722	0.00	11,696	8,760
				8	2	CC	\$ 13,958	\$ 149,859	0.764	0.00	11,605	8,756
	1			8	2	CC	\$ 15,458	\$ 149,897	0.769	0.00	11,663	8,760
	1	1		8	2	CC	\$ 20,958	\$ 156,098	0.801	0.00	11,574	8,749
	16			128	8	CC	\$ 134,473	\$ 157,858	0.810	1.00		

HOMER - NREL



O que são minirredes?

United States Department of Energy Microgrid Exchange Group: “A microgrid is a group of interconnected loads and distributed energy resources (DERs) within clearly defined electrical boundaries that acts as a single controllable entity with respect to the grid. A microgrid can connect and disconnect from the grid to enable it to operate in both connected or island-mode.”

EU Research Project: “A microgrid comprises Low Voltage (LV) distribution systems with distributed energy resources (DERs), storage devices, energy storage systems and flexible loads. Such systems can operate either connected or disconnected from the main grid.”

CIGRÉ: “*Microgrids* are electricity distribution systems containing loads and distributed energy resources (such as distributed generators, storage devices, or controllable loads) that can be operated in a controlled, coordinated way either while connected to the main power network or while islanded.”

Capacidade de gerenciar interesses conflitantes de diferentes partícipes de maneira a chegar a uma decisão operacional globalmente ótima para todos os atores envolvidos.



Portes de minirredes

Rede

- Rede de distribuição principal

Minirrede

- Centros Industriais;
- Centros comerciais e grandes conjuntos residenciais

Microrede

- Campus Universitários;
- Pequenos conjuntos residenciais;
- Shoppings

Nanorede

- Residência;
- Pequeno grupo de residências

Picorede...

- Veículos elétricos

Capacidade de geração, extensão geográfica, número de consumidores, demanda etc.



Um pouco de história

The Manhattan Pearl Street Station (**carvão**)

Em 04/09/1882 (**138 anos**)

Minirrede c.c. (**82 consumidores/
400 lâmpadas**)

Em 1884 (**508 consumidores/10.164
lâmpadas**) – **519 %/2.441 %**



Edison Illuminating Company, de T. A. Edison (**hoje GE**)

Nos quatro anos seguintes foram instaladas 58 minirredes c.c.

Depois iniciou-se a transformação para redes c.a., como monopólio regulado pelo governo (**extinção das minirredes c.c. – retorno a partir de 2009**)



c.a. ou c.c.?

THE CURRENT WAR

THE TALE OF AN EARLY TECH RIVALRY

DC

DIRECT CURRENT

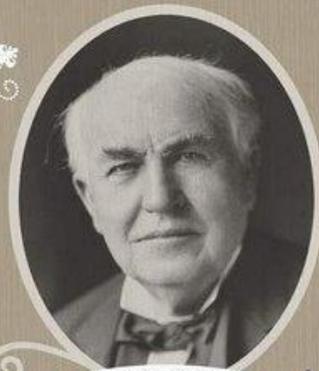
The flow of electricity is in one direction only. The system operates at the same voltage level throughout and is not as efficient for high-voltage, long distance transmission.

Direct current runs through:

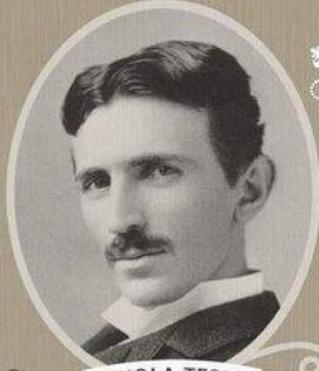
- Battery-Powered Devices
- Fuel and Solar Cells
- Light Emitting Diodes

"TESLA'S IDEAS ARE SPLENDID, BUT THEY ARE UTTERLY IMPRACTICAL."

- THOMAS EDISON



THOMAS EDISON



NIKOLA TESLA

VS.

You would have never found two geniuses so spiteful of each other beyond turn-of-the-century inventors Nikola Tesla and Thomas Edison. They worked together—and hated each other. Let's compare their life, achievements, and embittered battles.

AC

ALTERNATING CURRENT

Electric charge periodically reverses direction and is transmitted to customers by a transformer that could handle much higher voltages.

Alternating current runs through:

- Car Motors
- Radio Signals
- Appliances

"IF EDISON HAD A NEEDLE TO FIND IN A HAYSTACK, HE WOULD PROCEED AT ONCE... UNTIL HE FOUND THE OBJECT OF HIS SEARCH. I WAS A SORRY WITNESS OF SUCH DOINGS, KNOWING THAT A LITTLE THEORY AND CALCULATION WOULD HAVE SAVED HIM 90 PERCENT OF HIS LABOR."

- NIKOLA TESLA



FALLING OUT

Edison promised Tesla a generous reward if he could smooth out his direct current system. The young engineer took on the assignment and ended up saving Edison more than \$100,000 (millions of dollars by today's standards). When Tesla asked for his rightful compensation, Edison declined to pay him. Tesla resigned shortly after, and the elder inventor spent the rest of his life campaigning to discredit his counterpart.

LATE BLOOMER

Thomas Edison, the youngest in his family, didn't learn to talk until he was almost 4 years old.

"Genius is one percent inspiration and ninety nine percent perspiration."

- Thomas Edison

EDISON FRIES AN ELEPHANT

In order to prove the dangers of Tesla's alternating current, Thomas Edison staged a highly publicized electrocution of the three-ton elephant known as "Topsy." She died instantly after being shocked with a 6,600-volt AC charge.



1847 BORN 1858

Milan, Ohio BIRTHPLACE Smiljan, Croatia

Wizard of Menlo Park NICKNAME Wizard of the West

Home-schooled and self-taught EDUCATION Studied math, physics, and mechanics at The Polytechnic Institute at Graz

Mass communication and business FORTE Electromagnetism and electromechanical engineering

Trial and error METHOD Getting inspired and seeing the invention in his mind in detail before fully constructing it

DC (Direct Current) WAR OF CURRENTS: ELECTRICAL TRANSMISSION IDEA AC (Alternating Current)

Incandescent light bulb; phonograph; cement making technology; motion picture camera; DC motors and electric power

NOTABLE INVENTIONS

Tesla coil - resonant transformer circuit; radio transmitter; fluorescent light; AC motors and electric power generation system

1,093 NUMBER OF US PATENTS 112

0 NUMBER OF NOBEL PRIZES WON 0

1 NUMBER OF ELEPHANTS ELECTROCUTED 0

1931—Passed away peacefully in his New Jersey home, surrounded by friends and family

DEATH

1943—Died lonely and in debt in Room 3527 at the New Yorker Hotel



WAR OF CURRENTS OFFICIALLY SETTLED

In 2007, Con Edison ended 125 years of direct current electricity service that began when Thomas Edison opened his power station in 1882. It changed to only provide alternating current.

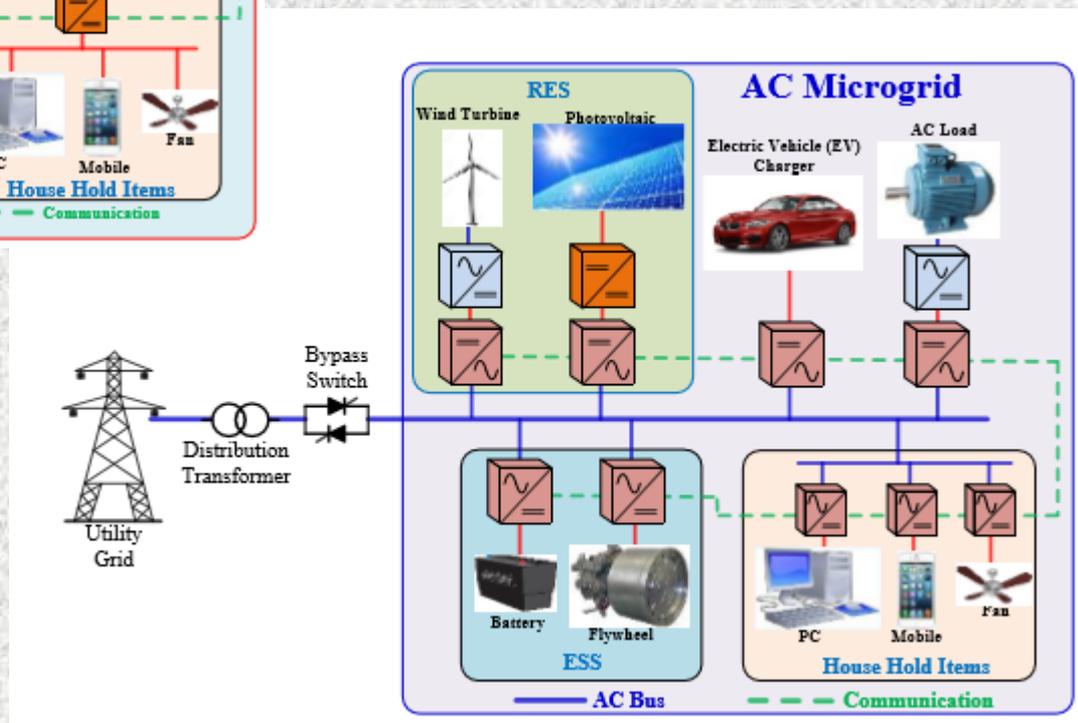
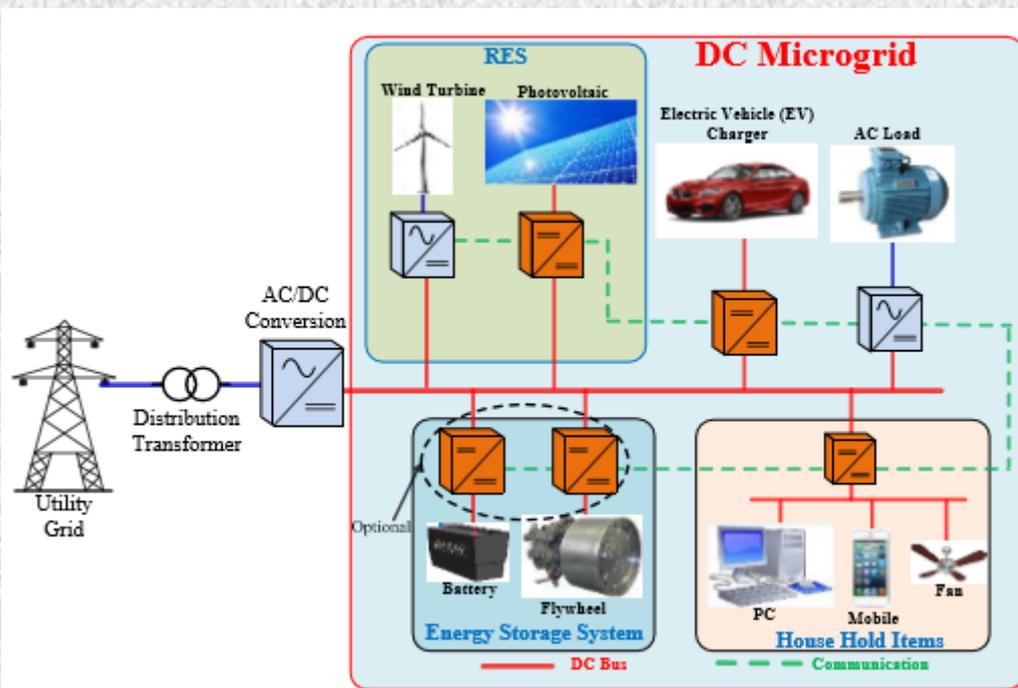
NOBEL PRIZE CONTROVERSY

In 1915, both Edison and Tesla were to receive Nobel Prizes for their strides in physics, but ultimately, neither won. It is rumored to have been caused by their animosity towards each other and refusal to share the coveted award.





c.a. ou c.c.?





O que são redes “inteligentes”?

Redes elétricas que utilizam tecnologias de informação e telecomunicações para coletar e prover informações, de fornecedores e consumidores, de forma automática, a fim de gerenciar a produção, distribuição e consumo da energia elétrica de maneira mais eficiente, confiável, econômica, segura e sustentável.

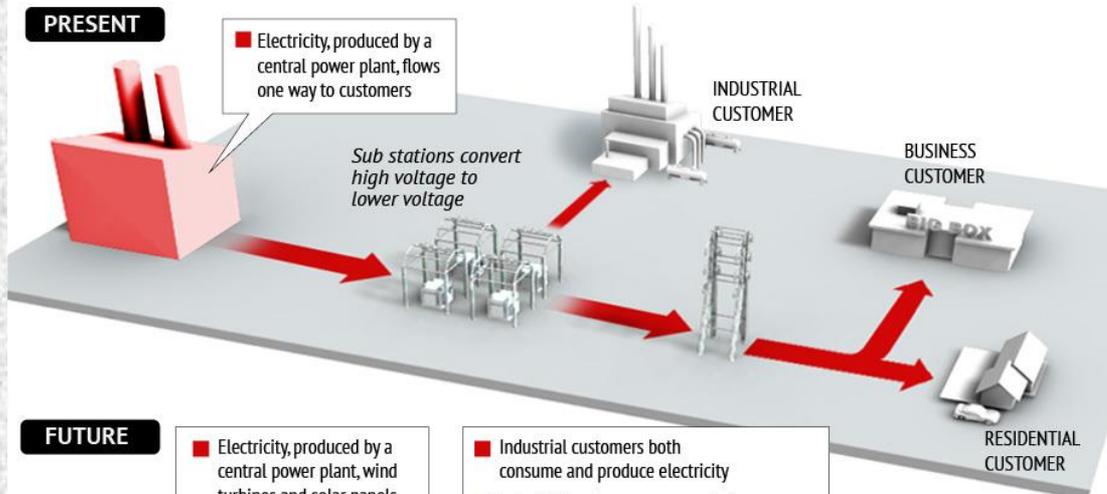
O condicionamento de potência e o controle da produção, distribuição e consumo são aspectos importantes nas redes inteligentes

“A SmartGrid is an electricity network that can intelligently integrate the actions of all users connected to it – generators, consumers, and those that do both – in order to efficiently deliver sustainable, economic and secure electricity supplies.” (EU Report, 27)

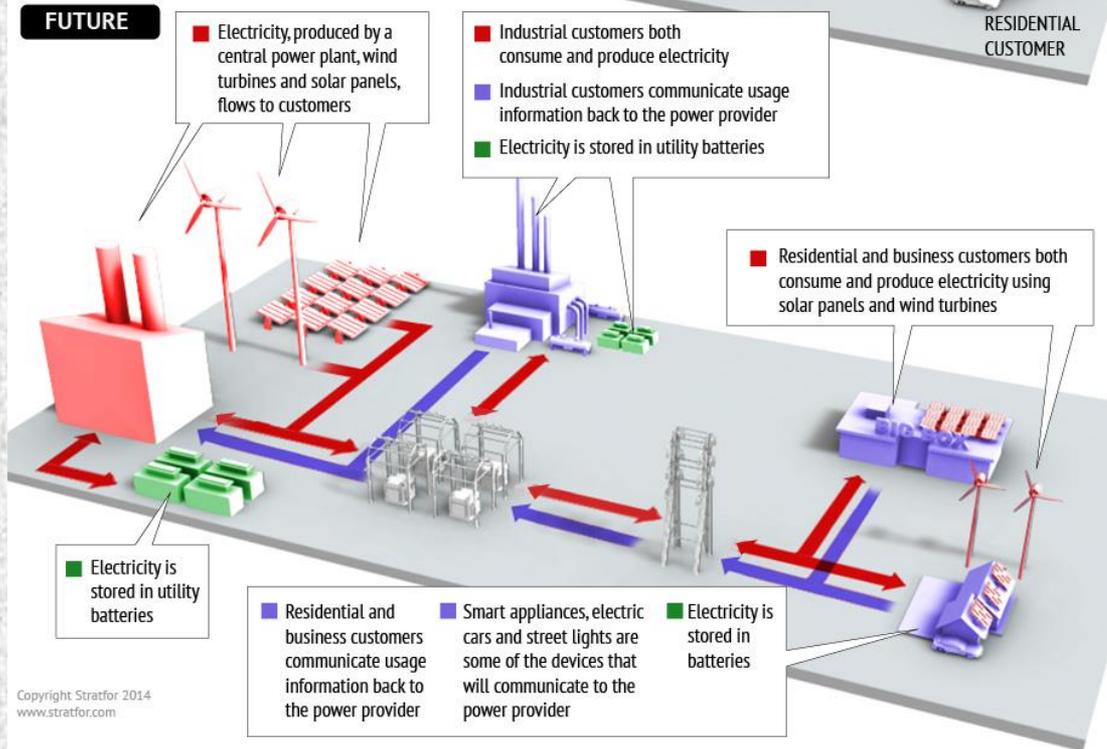
O que são redes “inteligentes”?

THE ELECTRIC GRID: PRESENT AND FUTURE

PRESENT

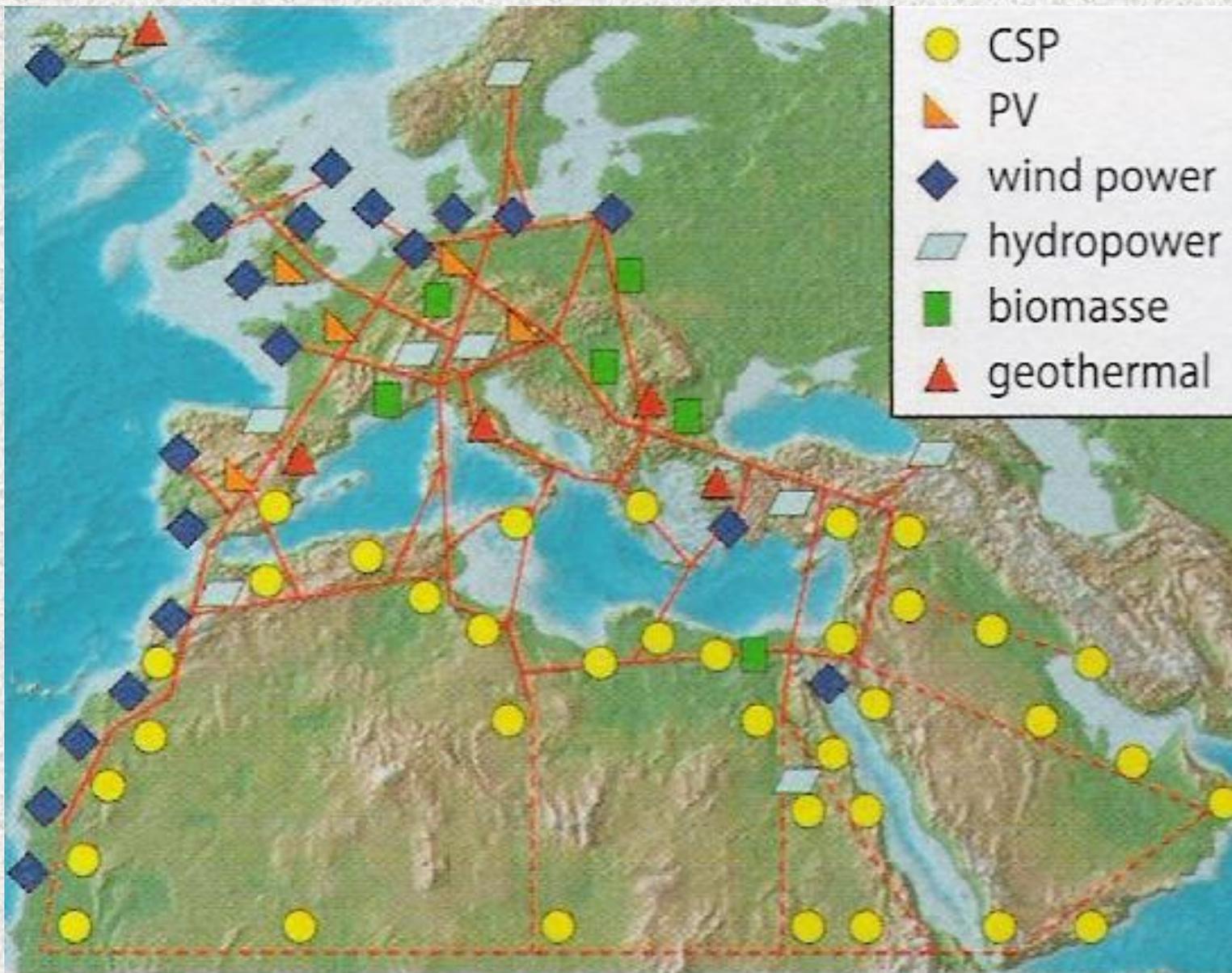


FUTURE





O que são redes “inteligentes”?





Minirredes “Inteligentes”

- ISOLADAS: **Eletrificação Rural (recursos limitados)**
- INTERCONECTADAS: **“Prosumidores” (*Recursos Energéticos Distribuídos - Geração Distribuída, Resposta de Demanda, Armazenamento; Dispositivos inteligentes - Inversores, BMS, Medidores, etc.*)**



Minirredes “Inteligentes”

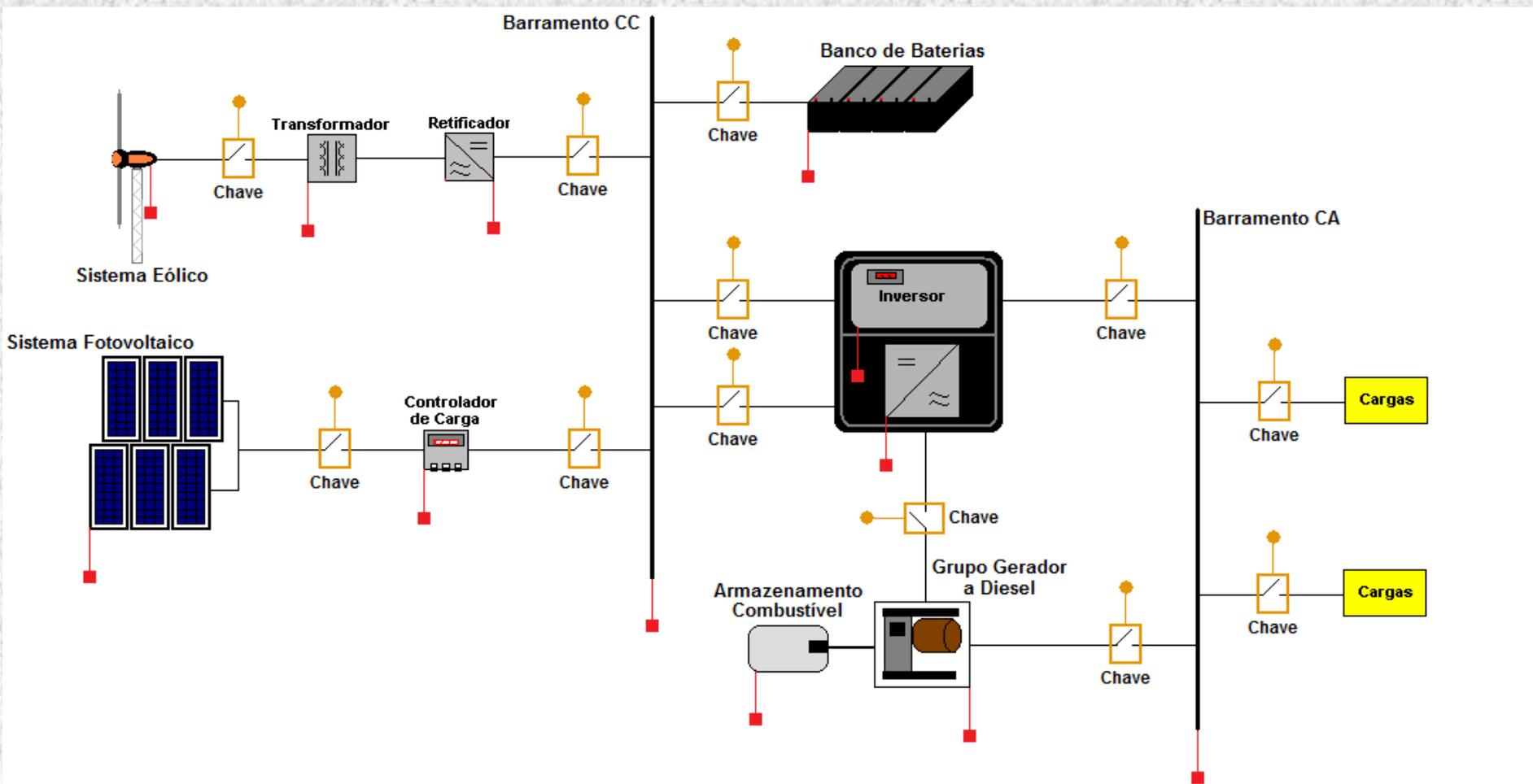
CAPACIDADES FUNCIONAIS NECESSÁRIAS

- Monitoramento: Conhecimento da situação em tempo real; Conhecimento da qualidade da energia; Análise de fluxo de carga distribuída; Uso de SIG
- Controle: Gerenciamento da minirrede; Despacho dos recursos energéticos distribuídos (RED); Reconfiguração automática de circuitos;
- Previsão: Previsão de curto prazo dos RED; Previsão de longo prazo dos RED; Previsão de demanda; Análise de contingências
- Otimização: Otimização da tensão; Otimização do fluxo de potência; Proteção adaptativa



O que torna a minirrede “inteligente”?

OPERAÇÃO MONITORADA E AUTOMATIZAÇÃO



Centro de Controle Local
Interface - Visualização e Comando
Armazenamento de Dados

Sistema
Monitoração
Controle

Protocolos de Comunicação
(telefonia, rádio, satellite, etc.)

Centro de Controle Remoto
Interface - Visualização e Comando
Armazenamento de Dados



Exemplos de minirredes

Minirrede isolada na vila de São Tomé (PA), 2003

FV-Eólico-Diesel com armazenamento em baterias para suprir 67 UC





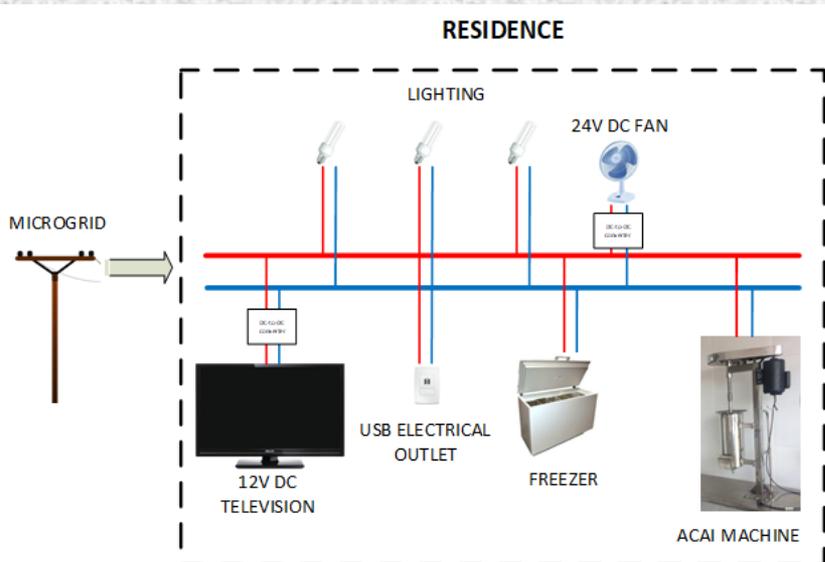
Exemplos de minirredes

Edificações ribeirinhas no Igarapé Piramanha, Ilhas das Onças





Exemplos de minirredes



Microrrede c.c. em uma residência ribeirinha na Amazônia:

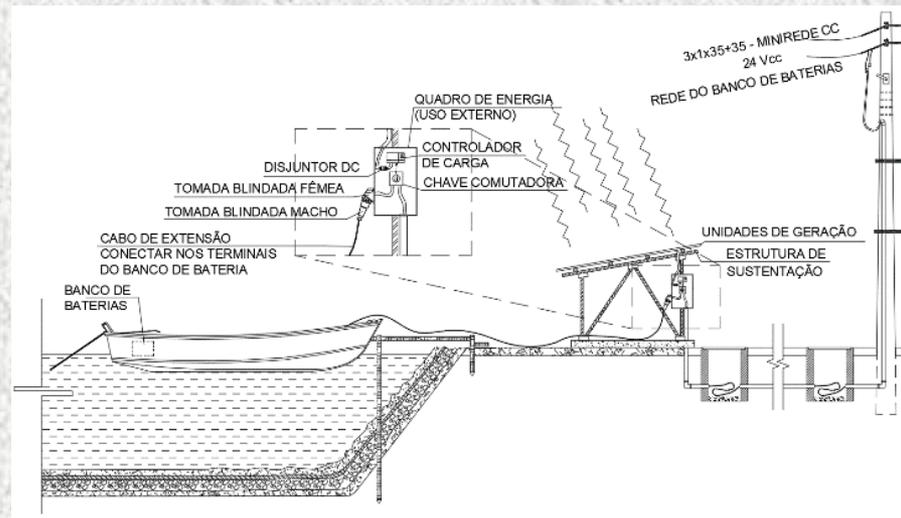
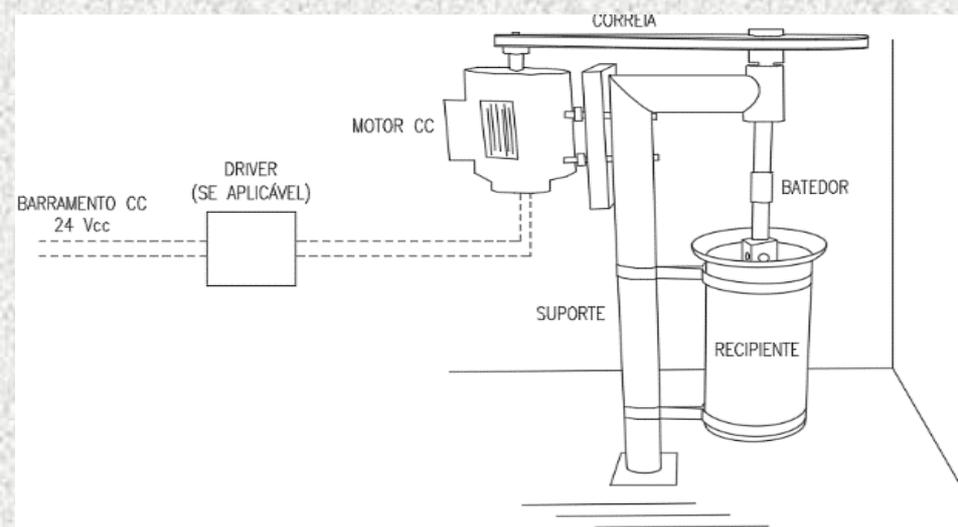
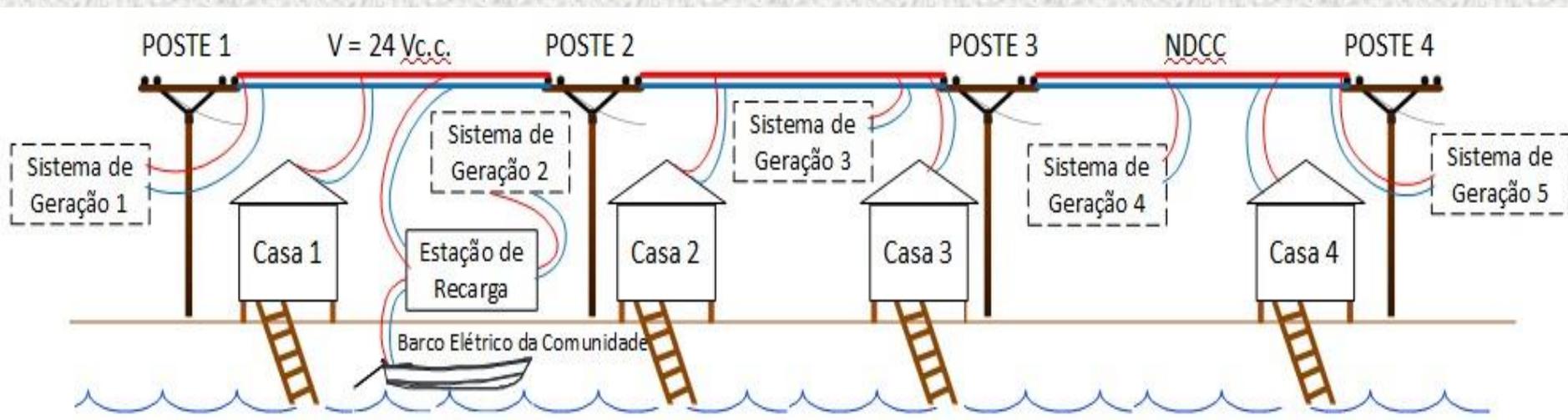
Cargas Instaladas: Freezer, máquina de açaí, iluminação, televisor, ventilador, recarga de celular





Exemplos de minirredes

Expansão do projeto para 4 casas e uma estação de recarga para um pequeno barco elétrico





Exemplos de minirredes



**Aproximadamente
150 m de
comprimento, com
cabo multiplexado
de 35 mm²**



Exemplos de minirredes





Sistemas do LSF e do GEDAE

OBJETIVOS

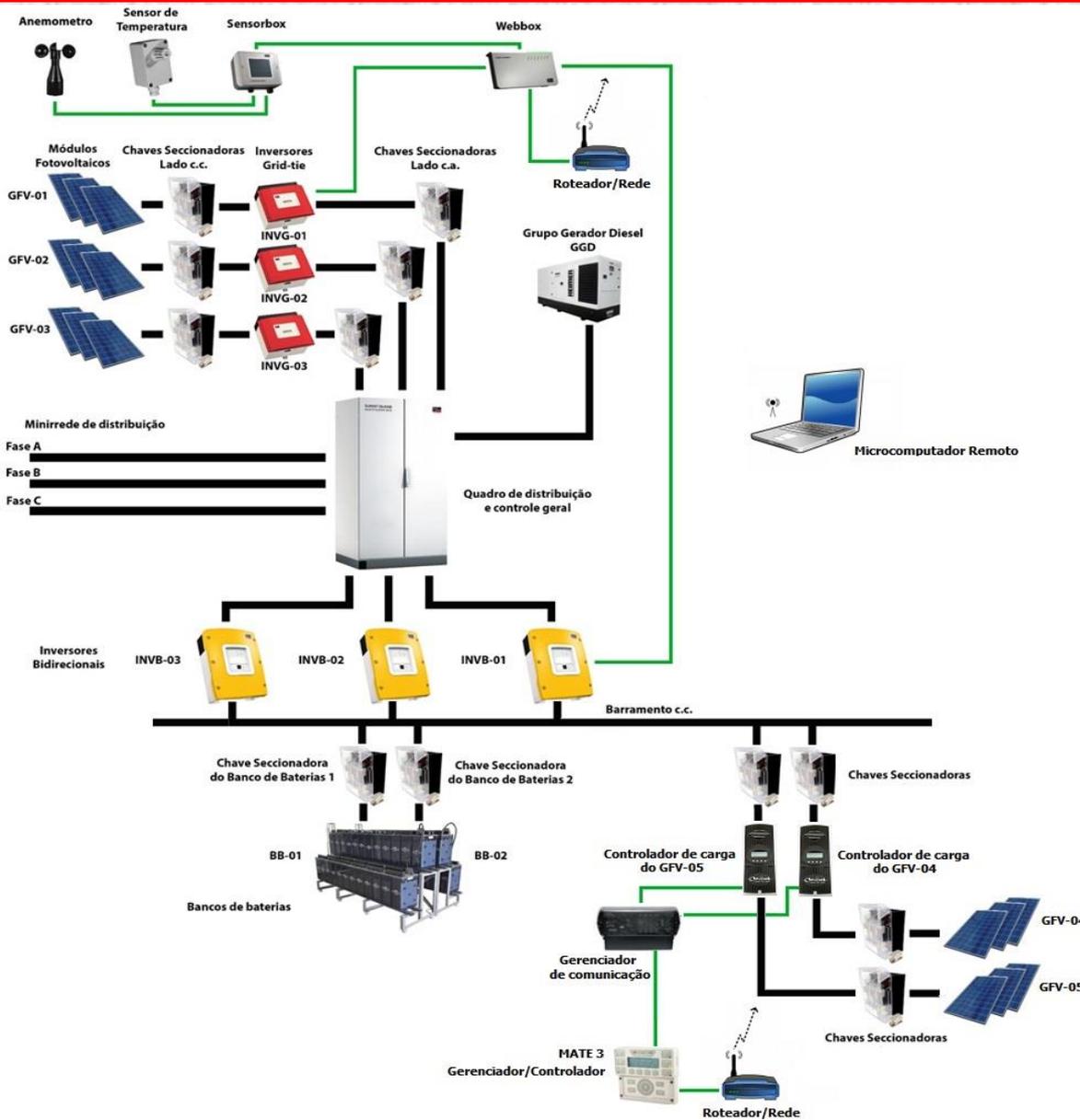
Desenvolvimento de infraestruturas laboratoriais de sistemas híbridos de geração de eletricidade e minirredes inteligentes

Desenvolvimento de estudos e pesquisas nos temas envolvidos

Capacitação de mão de obra especializada nos níveis técnico e superior



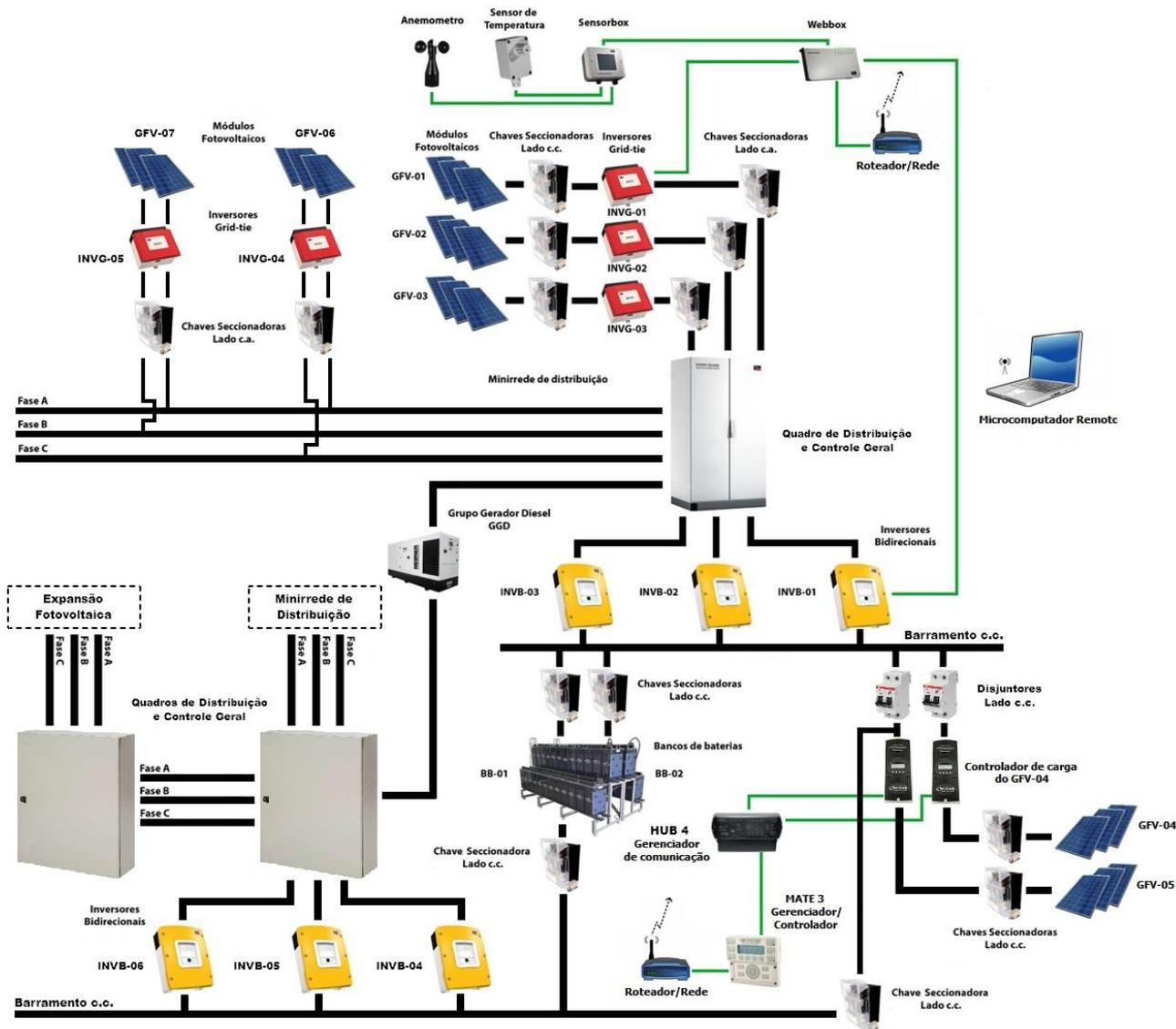
Minirrede do GEDAE



Primeiro sistema híbrido



Minirrede do GEDAE



Expansão
-
Segundo sistema híbrido



Minirrede do GEDAE

GFV-01 – 0,925 kWp

GFV-02 e GFV-03 – 1,1 kWp

GFV-04 e GFV-05 – 3 kWp

GFV-06 e GFV-07 – 2 kWp

GGD – 12 kVA

INVB-01, INVB-02 e INVB-03 – 4,5 kW

INVG-01, INVG-02 e INVG-03 – 0,7 kW

BB-01 e BB-02 – 48 kWh

Controladores de Carga – 48 Vc.c. / 60 A

QDC – quadro de distribuição e comando

MD – cerca de 1 km de comprimento linear, com cabos multiplexados de alumínio de 35 mm², chaves contadoras e auxiliares, que determinam as diferentes configurações de rede, como longa, curta, anel ou radial

SM - *Sunny SensorBox e Sunny WebBox*

O monitoramento/controlado do sistema conectado diretamente no barramento c.c. dá-se por meio do HUB 4 (gerenciador de comunicação) e o MATE 3 (gerenciador e controle), interligados (cabramento CAT5 Ethernet/RJ45) aos controladores de carga, ambos do fabricante OutBack



Minirrede do GEDAE

GFV-05 – 3 kWp

GFV-06 e GFV-07 – 2 kWp

GGD – 12 kVA

INVB-04, INVB-05 e INVB-06 – 4,5 kW

BB-01 – 48 kWh

Controlador de Carga – 48 Vc.c. / 60 A

QDC – quadro de distribuição e comando

MD – cerca de 1 km de comprimento linear, com cabos multiplexados de alumínio de 35 mm², chaves contadoras e auxiliares, que determinam as diferentes configurações de rede, como longa, curta, anel ou radial



Minirrede do GEDAE



GFV-01 e Sunny SensorBox (1º módulo à direita)



GFV-02 e GFV-03



GGD e anemometro (telhado)



INVB, INVG, QDC



Minirrede do GEDAE



QDC (vista interna)



BB-01 e BB-02



*Sunny WebBox e
Power Injector
(de baixo para
cima)*



Sensores de temperatura ambiente e do módulo

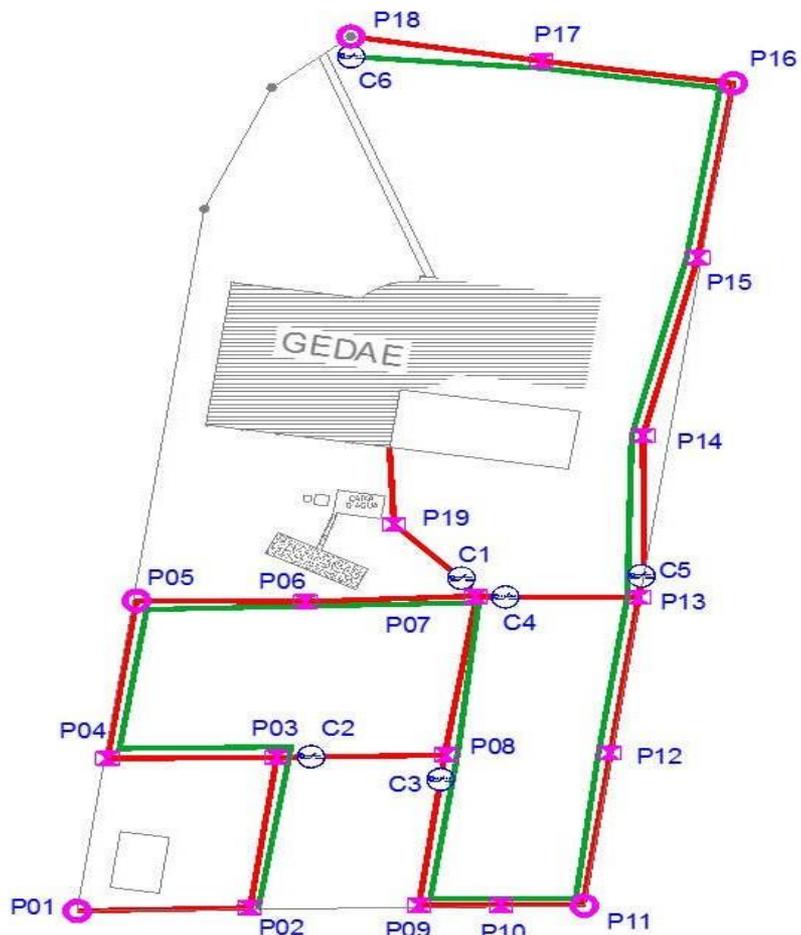


Minirrede do GEDAE





Minirrede do GEDAE



LEGENDA

- Poste de concreto de seção circular
- Poste de concreto de seção quadrada
- Cabo multiplexado - nível baixo (5 m)
- Cabo multiplexado - nível alto (5,60 m)
- Chave contatora





Minirrede do GEDAE

Configuração MODBUS Monitoração **Leiaute da Minirrede** Acionamento das Cargas

Iniciar

Chave 1

Chave 2

Chave 3

Chave 4

Chave 5

Chave 6

GEDAE

Configuração Indisponível!

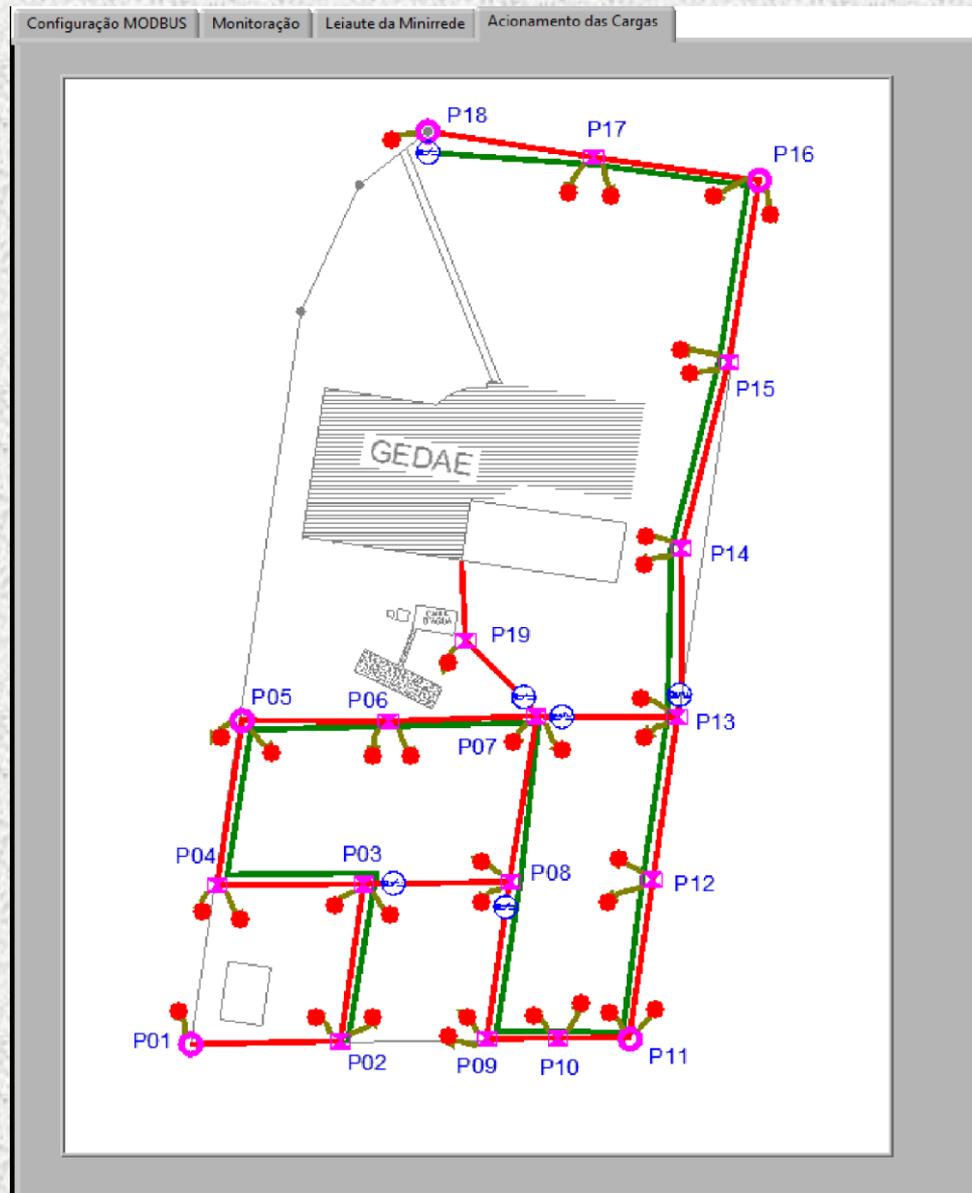
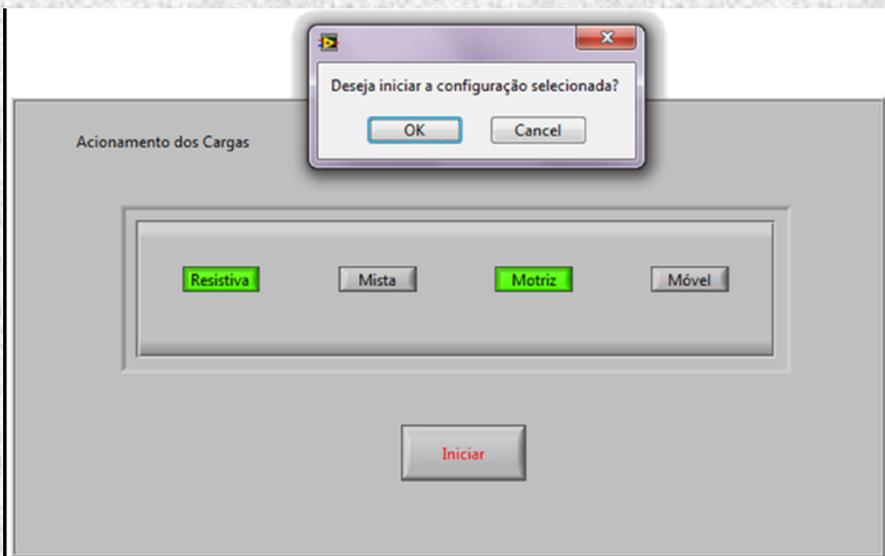
Para acionamento da Chave 6 é necessário que a Chave 1, Chave 3 ou 4 e a Chave 5 estejam acionadas.

Selecione as chaves corretas e aperte o botão Iniciar para repetir o processo.

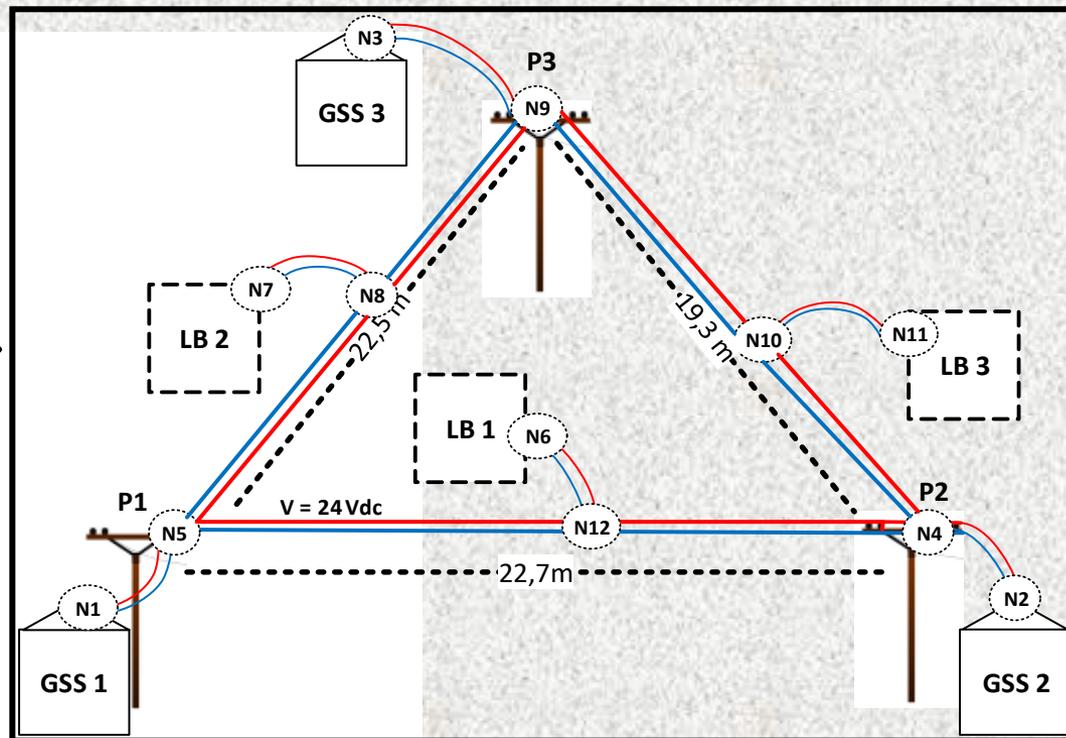
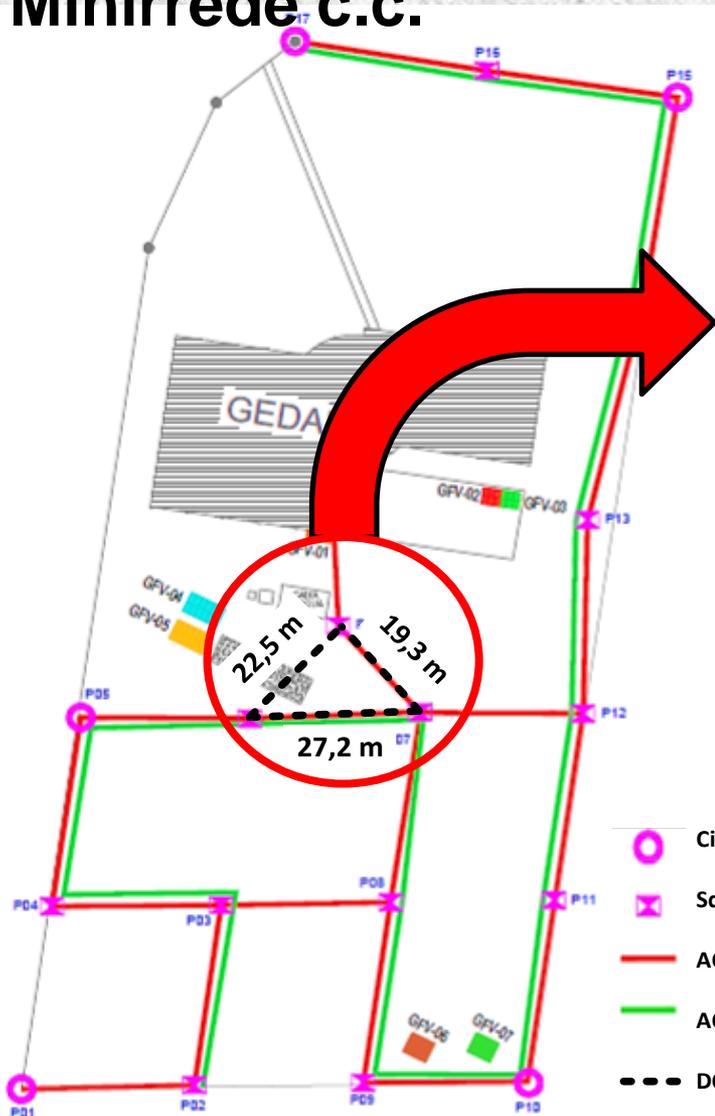
OK Cancel



Minirrede do GEDAE



Minirrede c.c.



- Circular section concrete pole
- Square section concrete pole
- ACDM multiplexed cable – Lower level (5 m)
- ACDM multiplexed cable – Upper level (5,6 m)
- DCDN multiplexed cable (4,5 m)



Minirrede do LSF

• ST1

– Principais componentes do ST1

- 8 x Geradores fotovoltaicos (total de 6,71 kWp);
- 6 x Inversores de conexão à rede;
- 3 x Inversores bidirecionais;
- 2 x Controladores de carga;
- 1 x Banco de baterias VRLA de 48 V/490 Ah;
- 1 x *multicluster*.

- Características do sistema
- Acoplamento misto;
- Geração distribuída no lado da carga no *multicluster*;
- Grupo Gerador de 40 kVA;
- Conexão com a rede elétrica.

• SM1

– Principais componentes do SM1

- 3 x Geradores fotovoltaicos (total de 1,28 kWp);
- 2 x Inversores de conexão à rede;
- 1 x Inversores bidirecionais;
- 1 x Controladores de carga;
- 1 x Banco de baterias VRLA de 48 V/200 Ah;

- Características do sistema
- Acoplamento misto;
- Grupo Gerador de 40 kVA;
- Conexão com à rede elétrica;
- Possibilidade de fluxo reverso de potência para a rede elétrica.



Minirrede do LSF

- **ST2**

- **Principais componentes do ST2**

- **1 x Gerador fotovoltaico (total de 2,8 kWp);**
- **3 x Inversores bidirecionais;**
- **1 x Controladores de carga;**
- **2 x Banco de baterias VRLA de 48 V/200 Ah;**
- **1 x X-Connect.**

- Características do sistema
- Acoplamento c.c.;
- Grupo Gerador de 40 kVA;
- Conexão com a rede elétrica.

- **SM2**

- **Principais componentes do SM2**

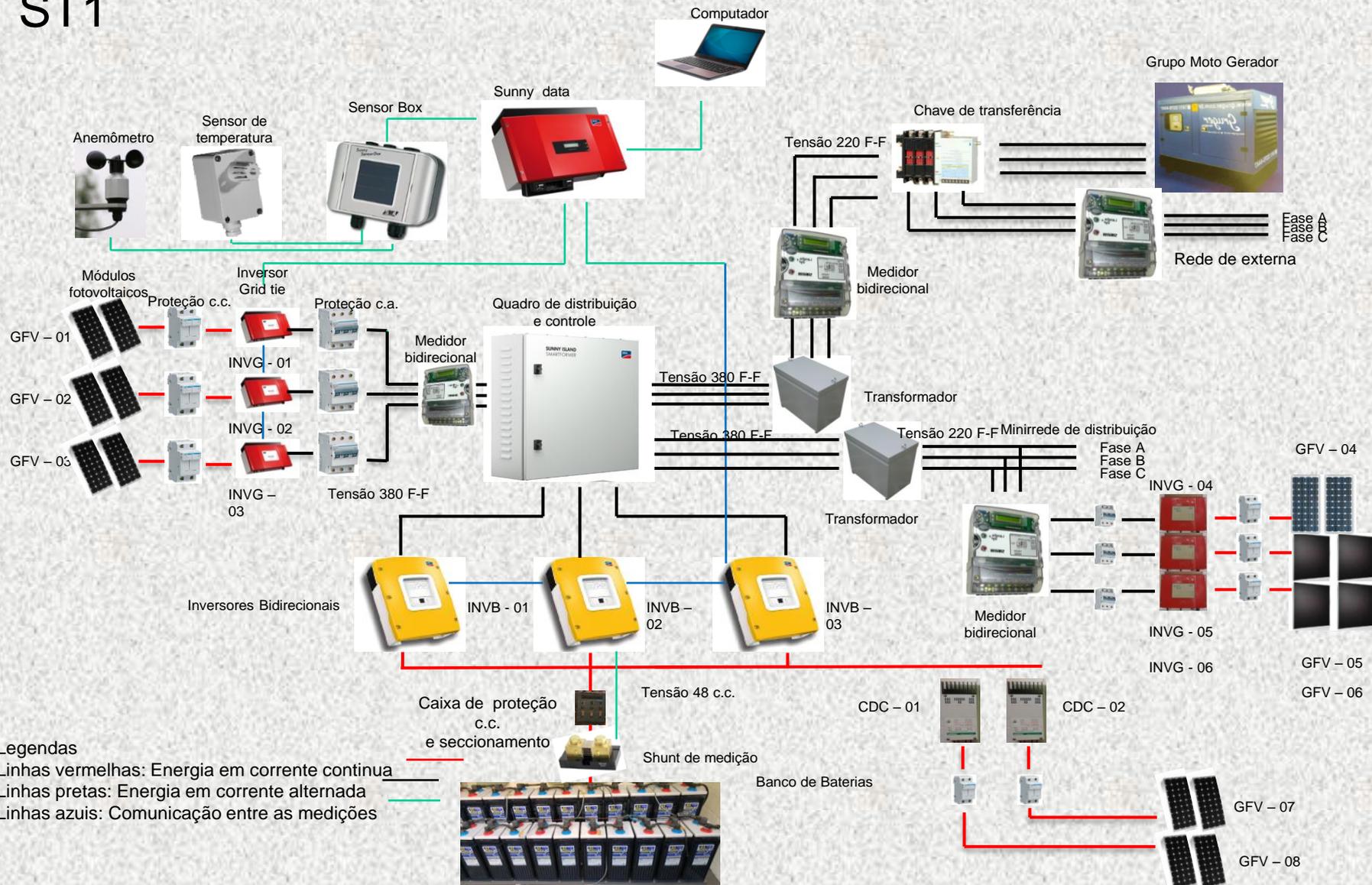
- **1 x Gerador fotovoltaico (total de 2,8 kWp);**
- **1 x Inversores bidirecionais;**
- **1 x Controladores de carga;**
- **1 x Banco de baterias VRLA de 24 V/200 Ah;**
- **1 x XW Power Distribution Painel.**

- Características do sistema
- Acoplamento c.c.;
- Grupo Gerador de 40 kVA;
- Conexão com à rede elétrica;
- Possibilidade de fluxo reverso de potência para a rede elétrica.



Minirrede do LSF

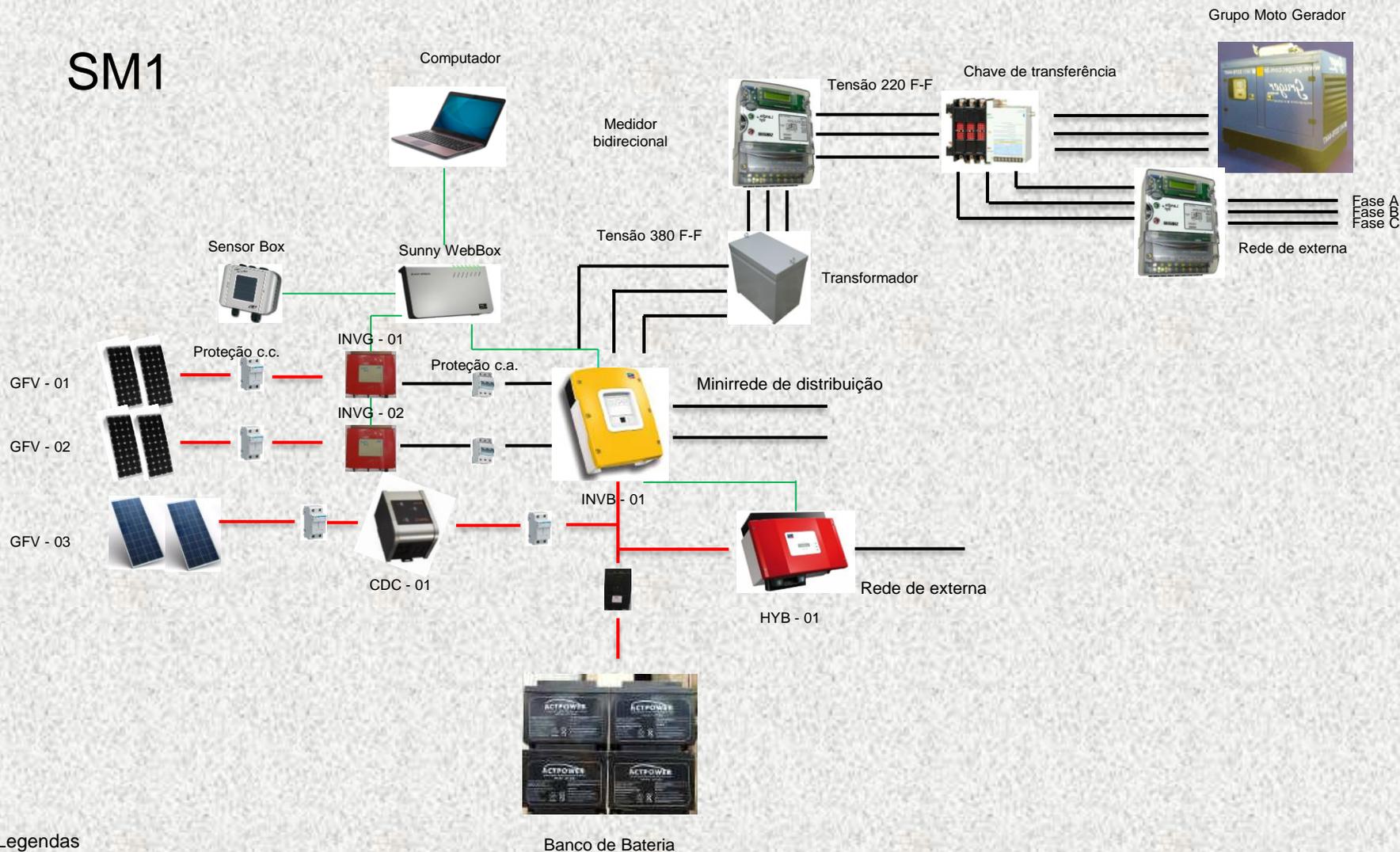
ST1





Minirrede do LSF

SM1

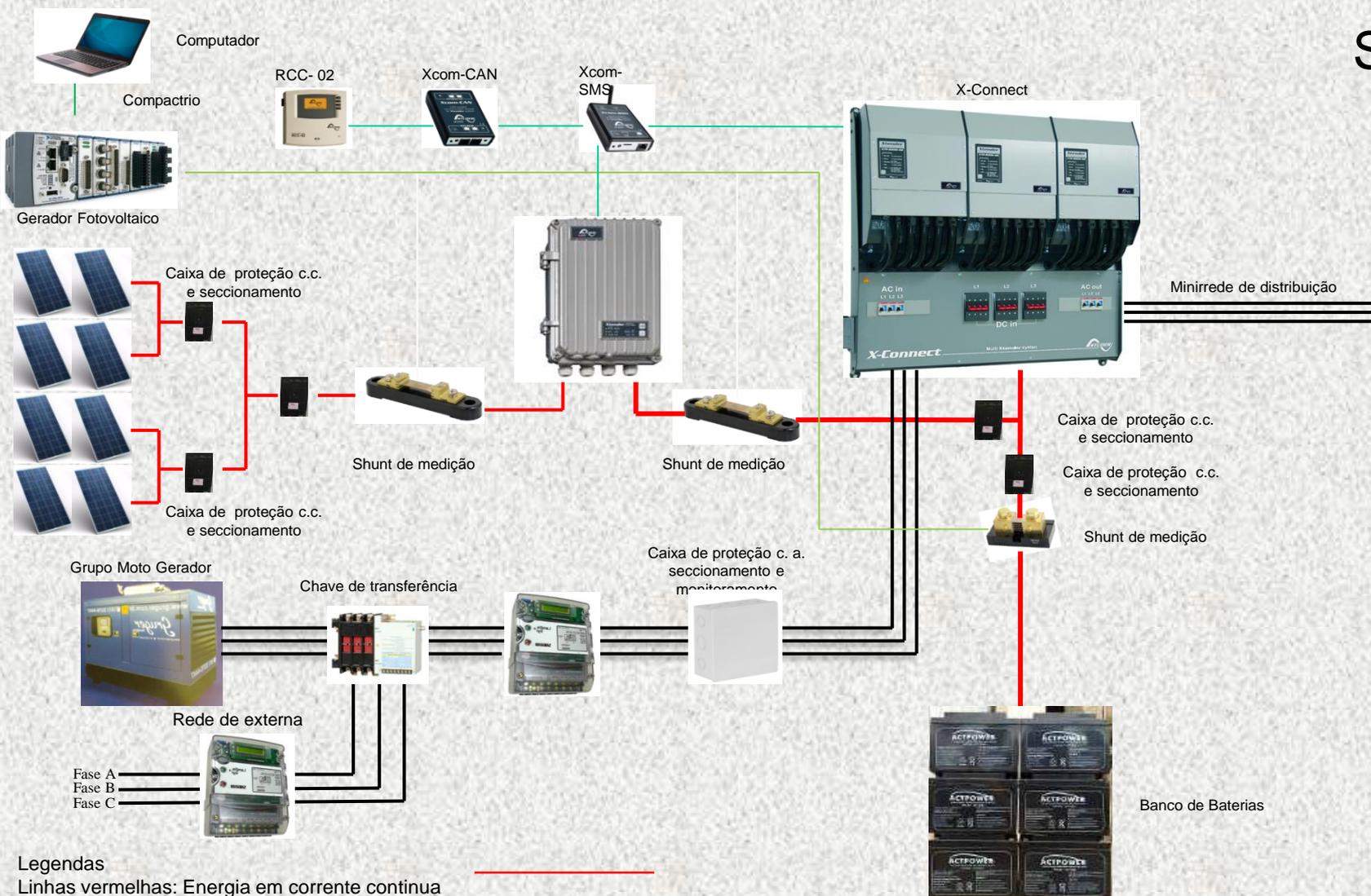


- Legendas
- Linhas vermelhas: Energia em corrente contínua
 - Linhas pretas: Energia em corrente alternada
 - Linhas azuis: Comunicação entre as medições



Minirrede do LSF

ST2



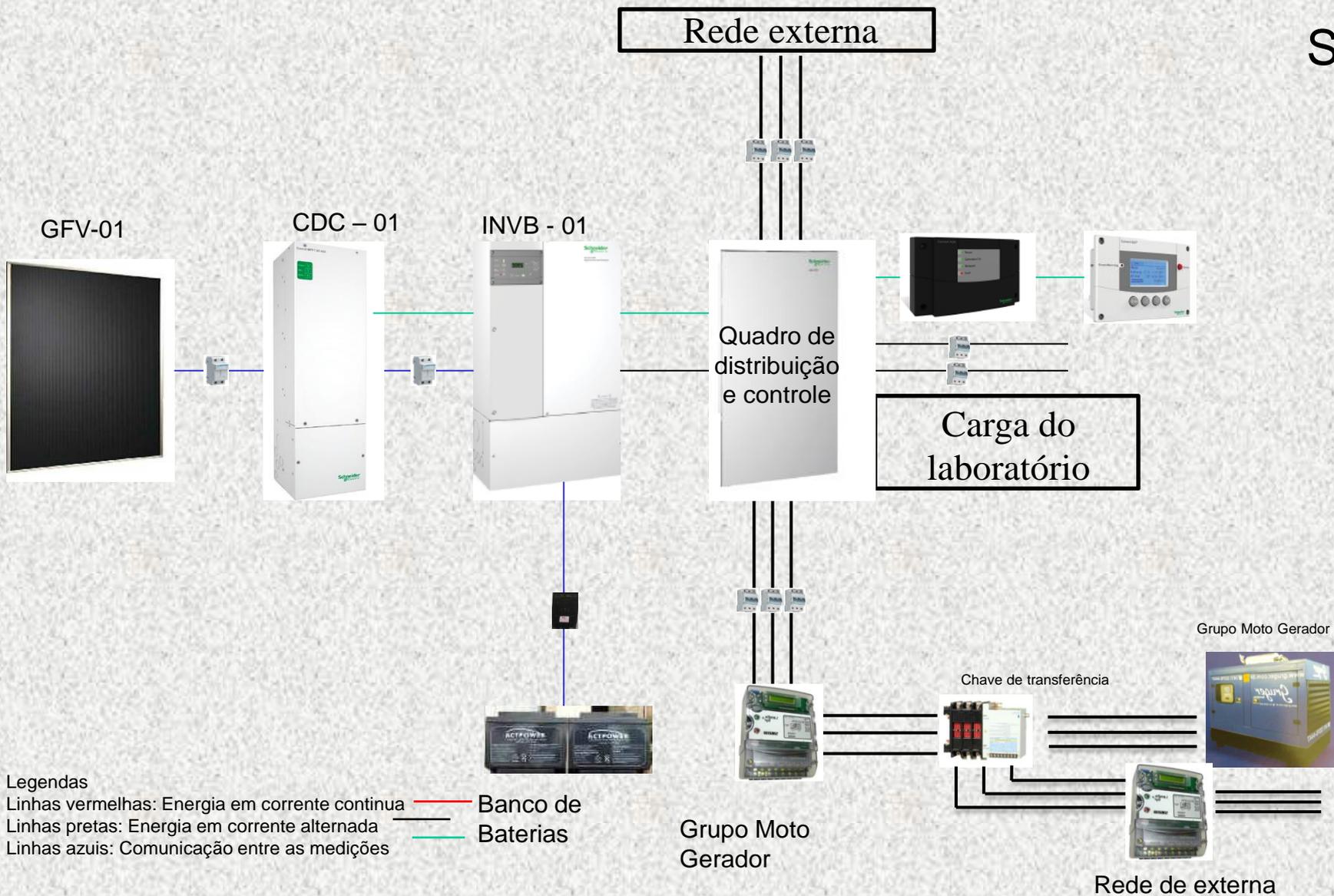
Legendas

- Linhas vermelhas: Energia em corrente continua
- Linhas pretas: Energia em corrente alternada
- Linhas verdes: Comunicação entre as medições
- Linhas azuis: Comunicação entre o sistema X-connect



Minirrede do LSF

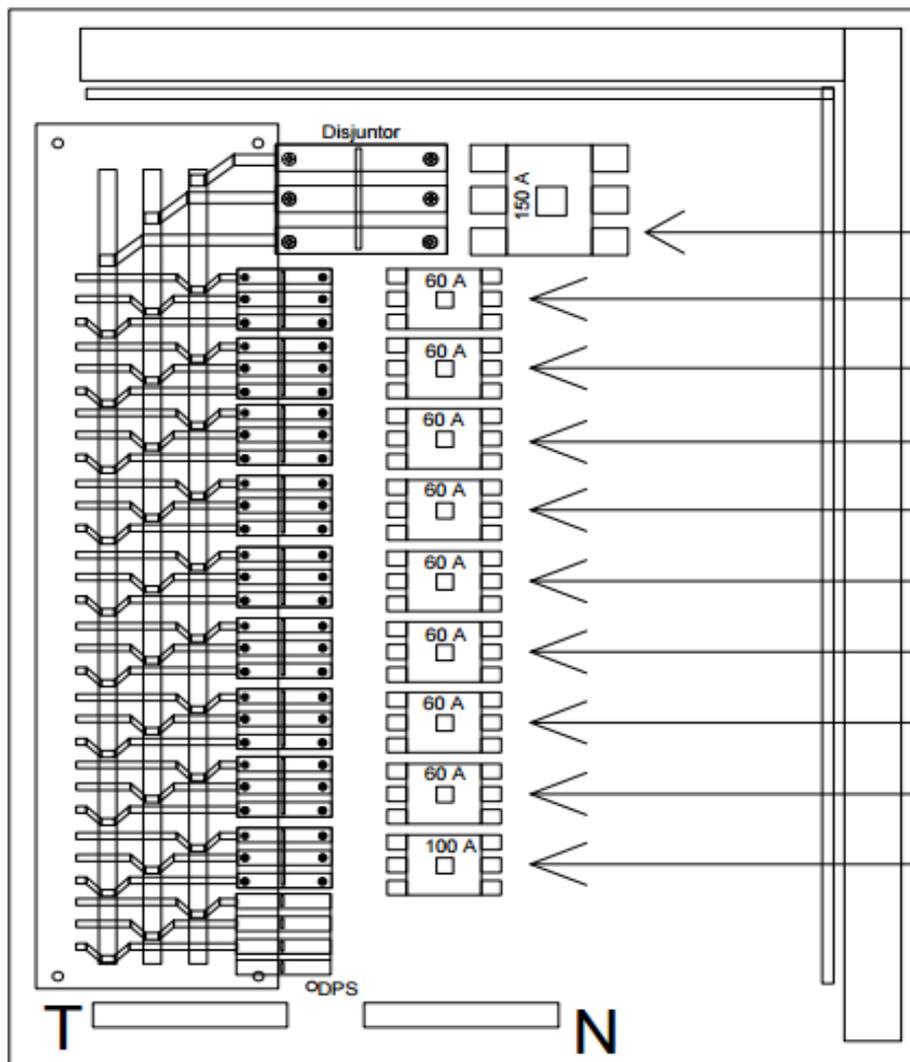
SM2





Minirrede do LSF

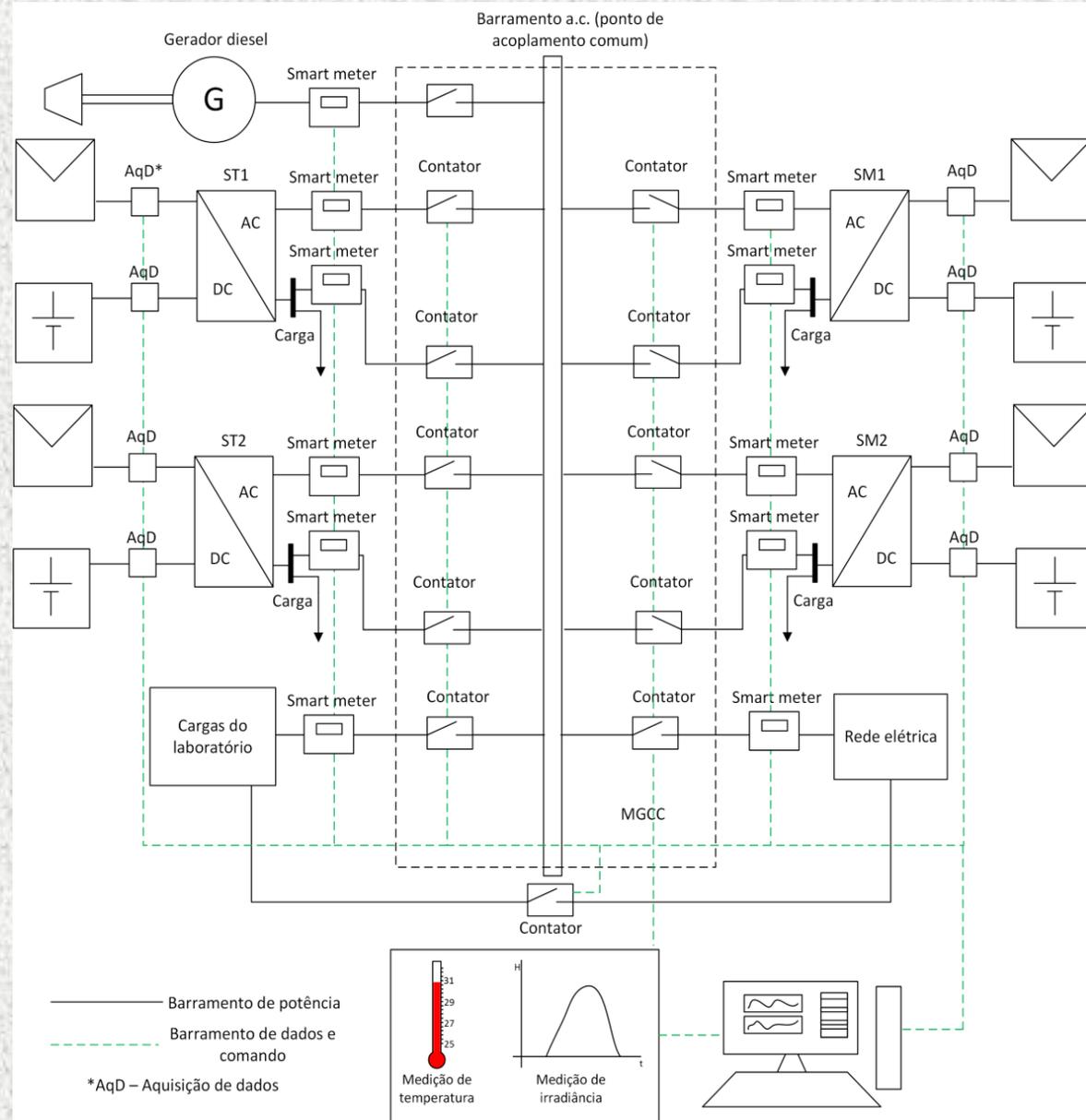
MGCC



- Entrada da transferência entre a rede elétrica ou grupo moto-gerador
- Entrada do Sistema Trifásico 1
- Entrada do Sistema Trifásico 2
- Entrada do Sistema Monofásico 1
- Entrada do Sistema Monofásico 2
- Saída do Sistema Trifásico 1
- Saída do Sistema Trifásico 2
- Saída do Sistema Monofásico 1
- Saída do Sistema Monofásico 2
- Rede elétrica

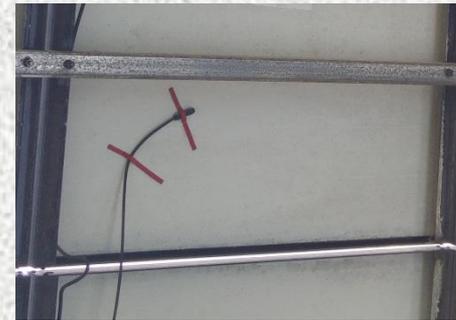
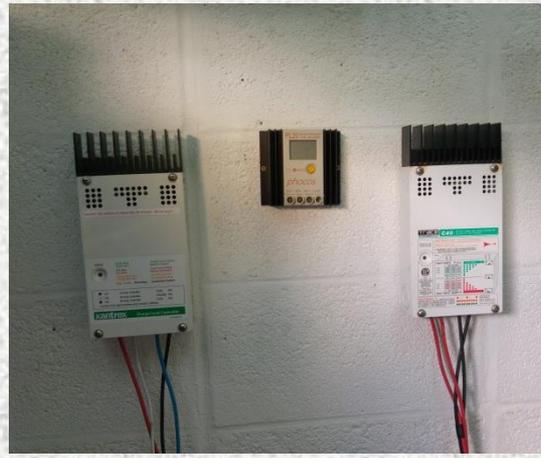
Estratégias Operacionais

- Sistemas híbridos como rede principal;
- Rede elétrica fornecendo energia para todos os sistemas, ou apenas um sistema;
- Gerador diesel fornecendo energia para todos os sistemas, apenas um sistema e/ou para a rede elétrica.





Minirrede do LSF



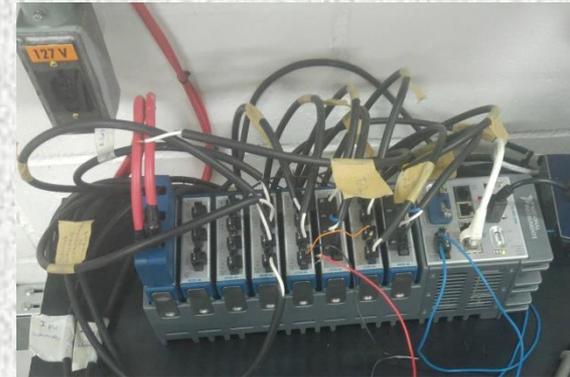


Minirrede do LSF





Minirrede do LSF





**Oportunidades para
Estágios Supervisionados,
Trabalhos de Conclusão de Curso e
Dissertações de Mestrado!**

Homepages: lsf.iee.usp.br
gedae.ufpa.br

E-mails: zilles@usp.br
jtpinho@ufpa.br



**PORQUE CADA ÁRVORE SE CONHECE
PELO SEU PRÓPRIO FRUTO (Lucas, 6:44)**

**GRATO
PELA
ATENÇÃO!**