

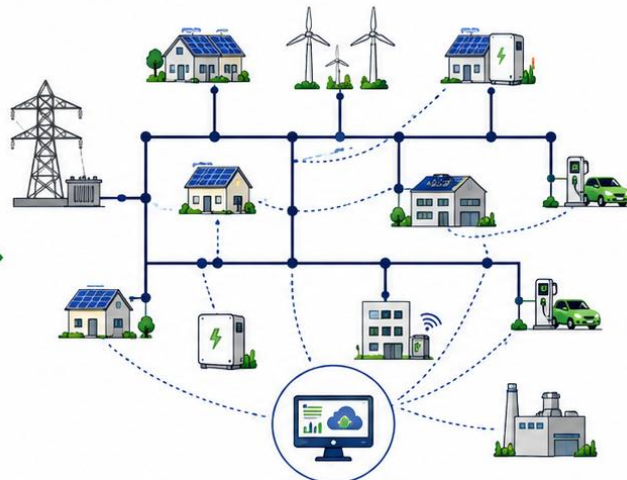
Plantas Virtuais de Energia (VPP): Coordenação Inteligente de Recursos Distribuídos para Redes Elétricas mais Flexíveis

Prof. Mamour Sop Ndiaye, CEFET-RJ, Lafae

Rede de Distribuição dinâmica e mais complexa

Nova realidade da rede

- Expansão MMGD;
- Veículos elétricos;
- Cargas flexíveis;
- Resposta da demanda;
- Renováveis intermitentes;
- Integração de BESS



Mais recursos conectados,
mais interações, mais incertezas.

Novos desafios operacionais

- Fluxo reverso;
- Rampas mais severas
- Sobretensão/subtensão;
- Congestionamento local;
- Baixa controlabilidade.

O problema não é a presença dos REDs; é a ausência de coordenação sistêmica.

Problema Operacional: Recursos ativos, mas ainda pouco coordenados

Rede tradicional

- Fluxo unidirecional;
- Consumidor passivo;
- Poucos ativos controláveis;
- Operação centralizada.

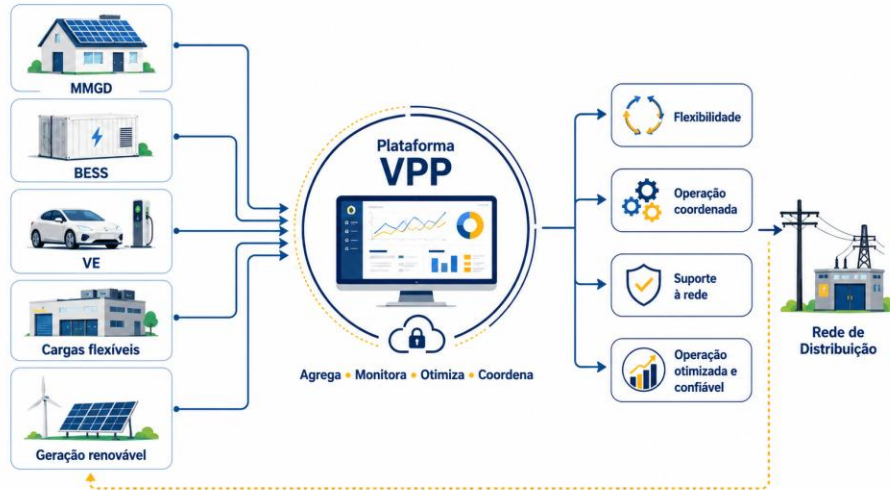
Rede atual

- Fluxo bidirecional;
- Consumidor-produtor (Prosumidor);
- REDs, BESS, V2X e cargas flexíveis;
- Operação mais variável e menos previsível.

A VPP nasce para recuperar visibilidade, previsibilidade e controle sobre a flexibilidade distribuída.

O que é uma Planta Virtual de Energia?

Uma **Planta Virtual de Energia**, ou **Virtual Power Plant (VPP)**, é uma plataforma digital que agrega, monitora, otimiza e coordena diferentes **Recursos Energéticos Distribuídos (REDs)**.



A VPP transforma recursos dispersos em capacidade coordenada de operação, flexibilidade e suporte à rede.

VPP no Ecosistema TSO/DSO



- A VPP agrega e coordena Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) como se fossem uma única planta virtual.



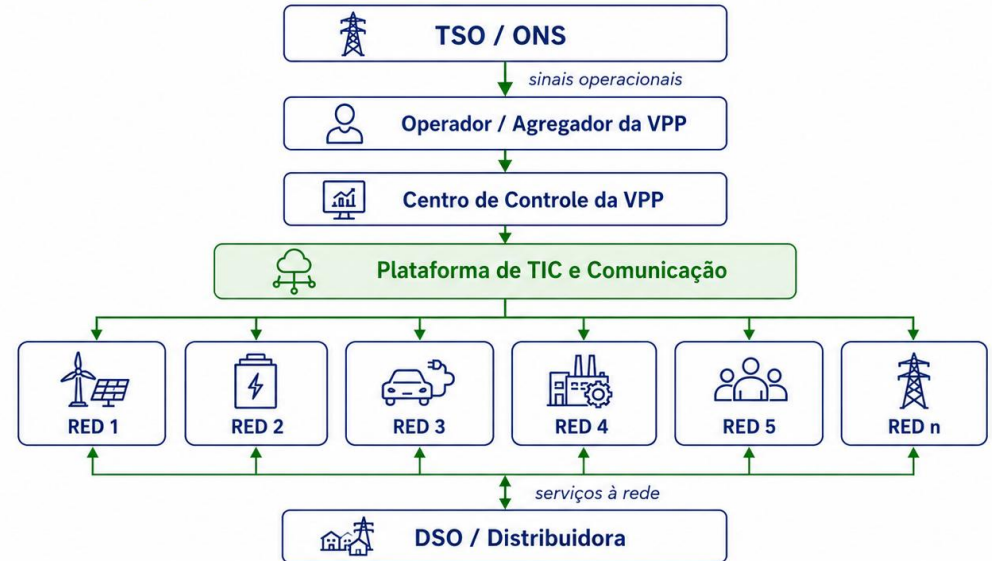
- O agregador faz a interface comercial e operacional entre a VPP, os REDs e os operadores.



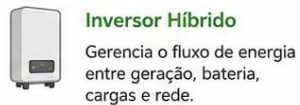
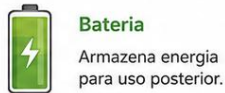
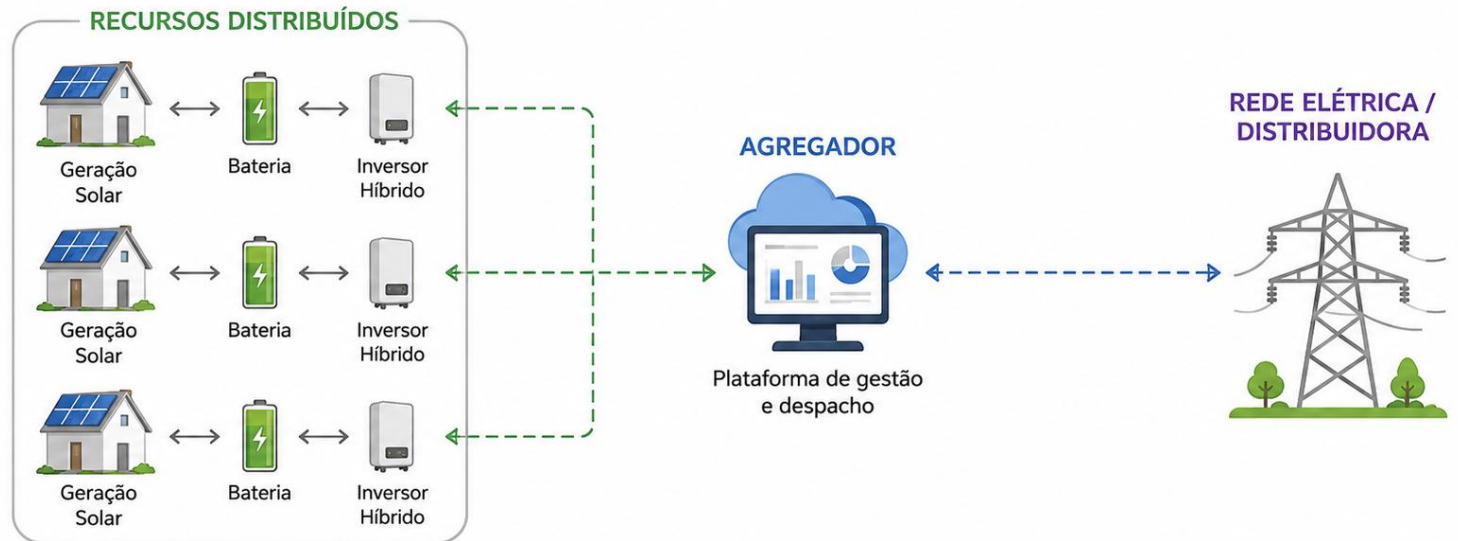
- A plataforma VPP monitora, prevê, otimiza e despacha os recursos em tempo real ou quase real.



- No ecossistema TSO/DSO, a VPP transforma flexibilidade distribuída em serviços para a rede.



Como Funciona (1)

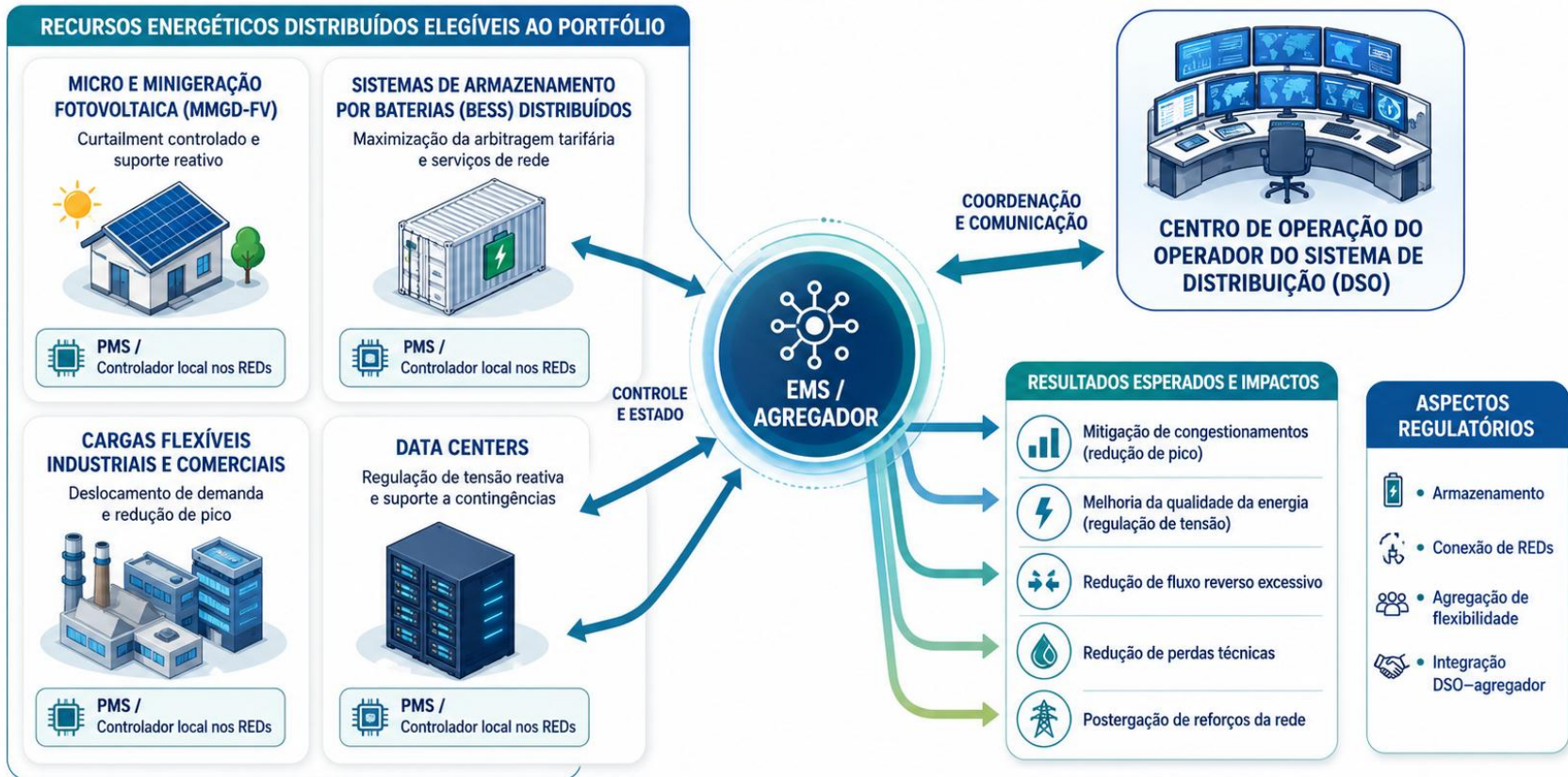


--- Comunicação / Comando

--- Fluxo de Energia

Como funciona (2)

SISTEMA DE AGREGAÇÃO INTELIGENTE DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO (AGREGADOR DE FLEXIBILIDADE)



Fontes não Despacháveis vs Recursos Coordenados

Fontes não despacháveis

- Solar e eólica dependem da disponibilidade do recurso primário;
- Operação variável e intermitente;
- Baixa capacidade de seguir setpoints;
- Maior exposição a rampas, curtailment e restrições locais.

Camada VPP

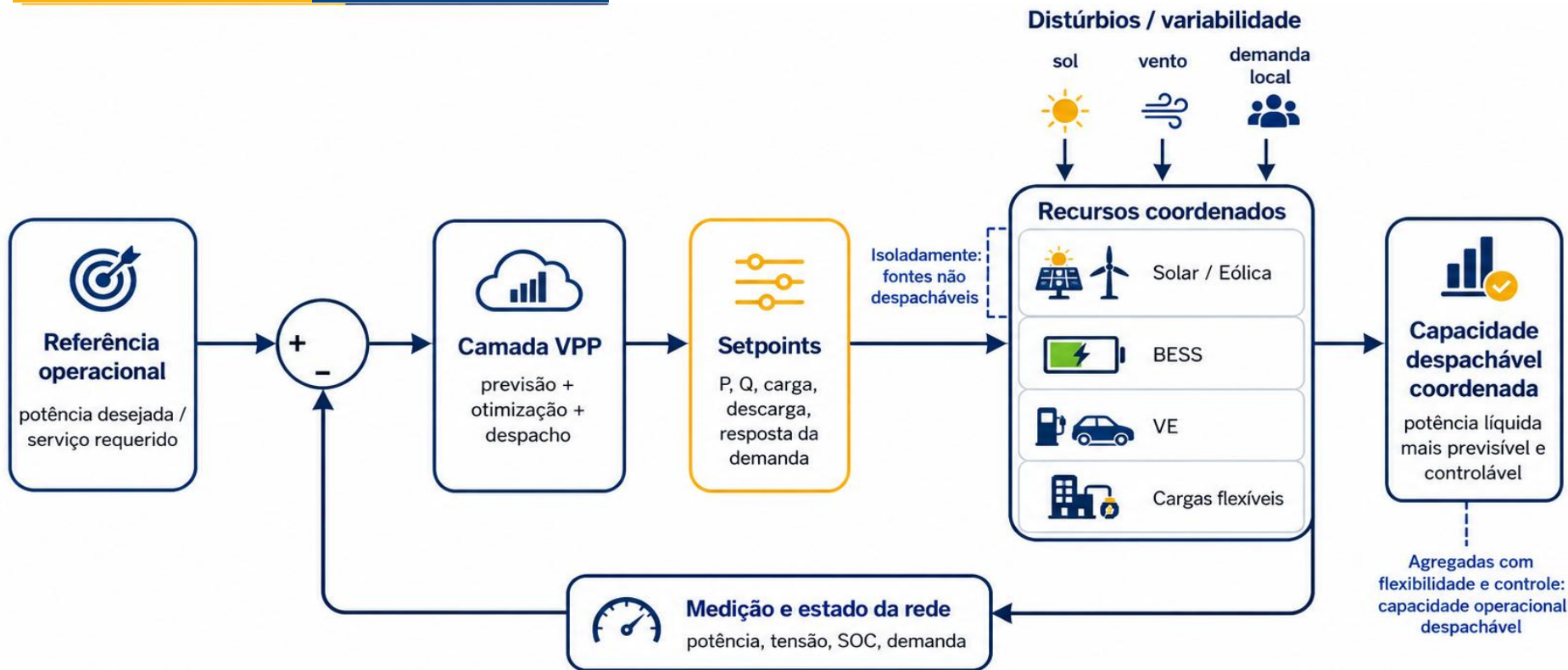
- Agrega fontes renováveis, BESS, VE e cargas flexíveis;
- Utiliza previsão de geração e demanda;
- Otimiza o despacho dos recursos;
- Envia setpoints e coordena respostas.

Capacidade despachável coordenada

- Maior previsibilidade da potência líquida;
- Redução de rampas e picos;
- Controle de tensão e congestionamentos; flexibilidade operacional para a rede;
- Suporte à coordenação entre distribuição e transmissão.

Isoladamente, a fonte renovável é não despachável; agregada com flexibilidade e controle, ela passa a compor uma capacidade operacional despachável.

Fontes não Despacháveis vs Recursos Coordenados (Malha Fechada)



A VPP transforma variabilidade distribuída em flexibilidade coordenada.

ARQUITETURA CONCEITUAL DE UMA VPP

4 OPERAÇÃO E VALIDAÇÃO

Ação coordenada e verificação de resultados

3 INTELIGÊNCIA DA VPP

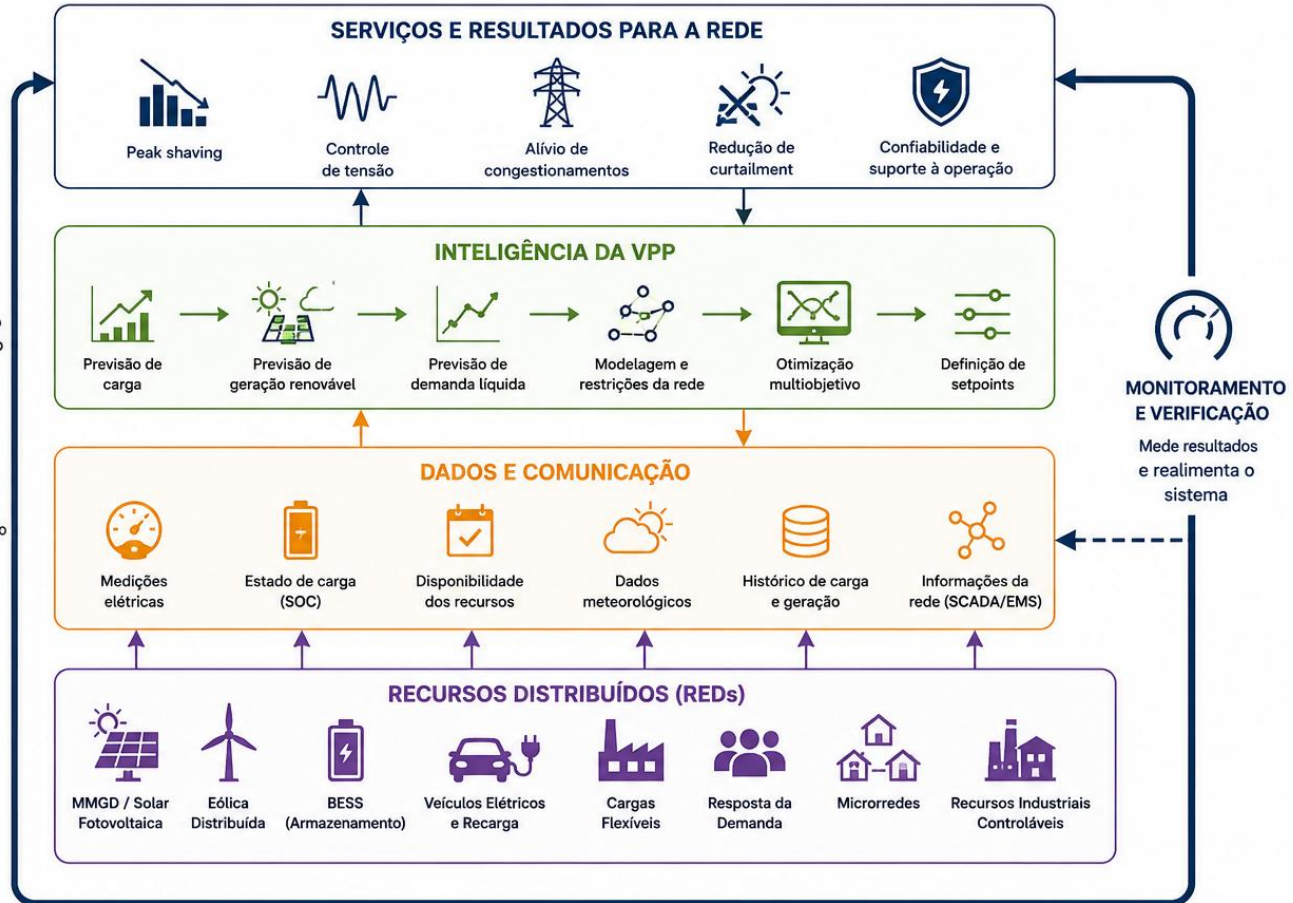
Previsão, otimização e tomada de decisão

2 DADOS E COMUNICAÇÃO

Visibilidade e integração de informações

1 RECURSOS DISTRIBUÍDOS

Ativos conectados à rede



MALHA FECHADA: MEDIR → DECIDIR → DESPACHAR → VERIFICAR → AJUSTAR

Funções operacionais das VPPs

Uma VPP pode atuar em três frentes principais:

1. Coordenação dos recursos

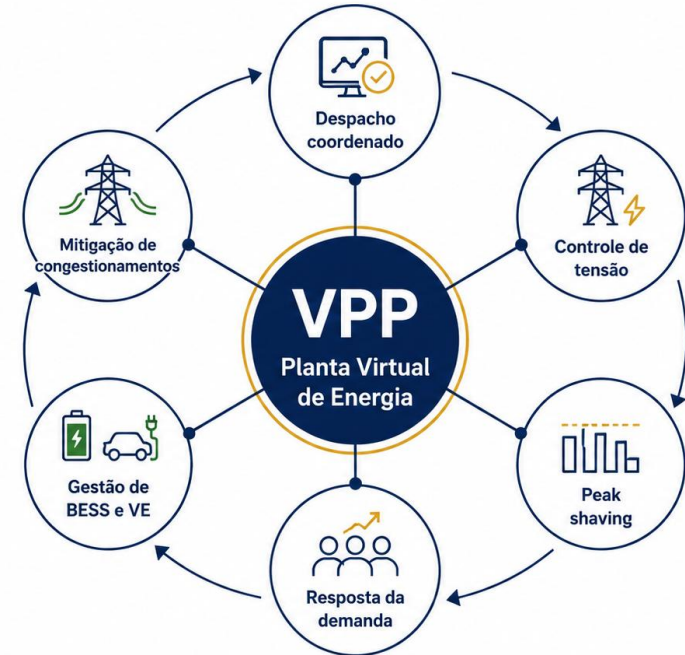
- Despacho de geração, armazenamento e carga;
- Envio de setpoints;
- Controle de P e Q;
- Gestão do SOC.

2. Apoio à rede

- Peak shaving;
- Controle de tensão;
- Mitigação de congestionamentos;
- Redução de rampas;
- Redução de curtailment.

3. Oferta de flexibilidade

- Resposta da demanda;
- Recarga inteligente de VE;
- Suporte com BESS;
- Serviços para a operação do sistema.



A VPP coordena recursos distribuídos para apoiar a operação da rede.

Coordenação TSO-DSO e papel da VPP



Restrições / solicitações do TSO

Resultados / verificação



Ações coordenadas



Resposta física na rede



A VPP converte flexibilidade distribuída em resposta operacional coordenada.

- Solicitações / restrições
- Ações / coordenação
- Resposta física
- → Resultados / verificação

Coordenação TSO-DSO e papel da VPP

TSO / ONS: Segurança do SIN, rampas, reserva, curtailment e equilíbrio sistêmico.

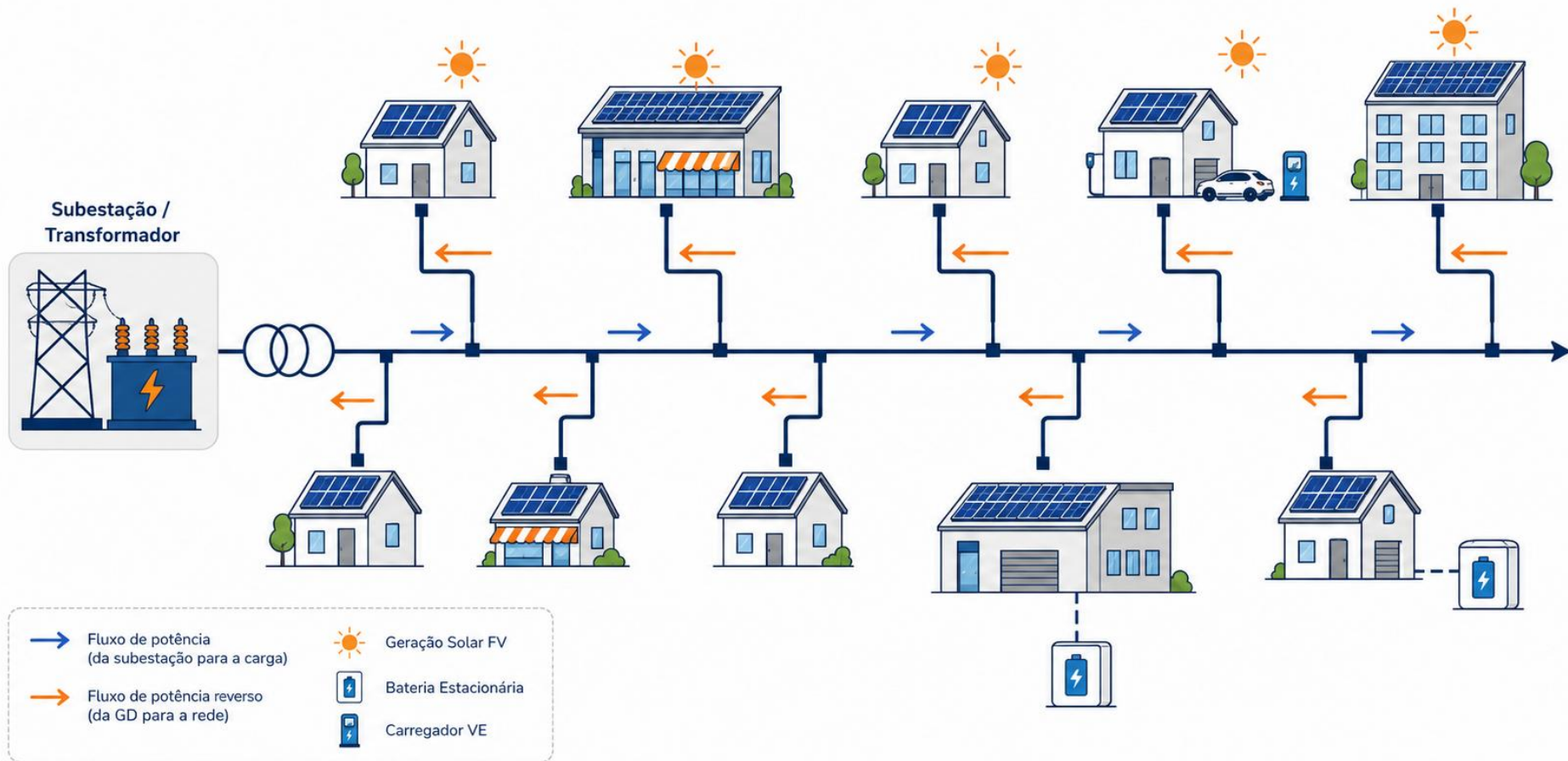
DSO / Distribuidora: Tensão, fluxo reverso, congestionamento local, qualidade e confiabilidade.

VPP / Agregador: Agrega recursos, prevê disponibilidade, otimiza despacho, envia setpoints e verifica resultados.

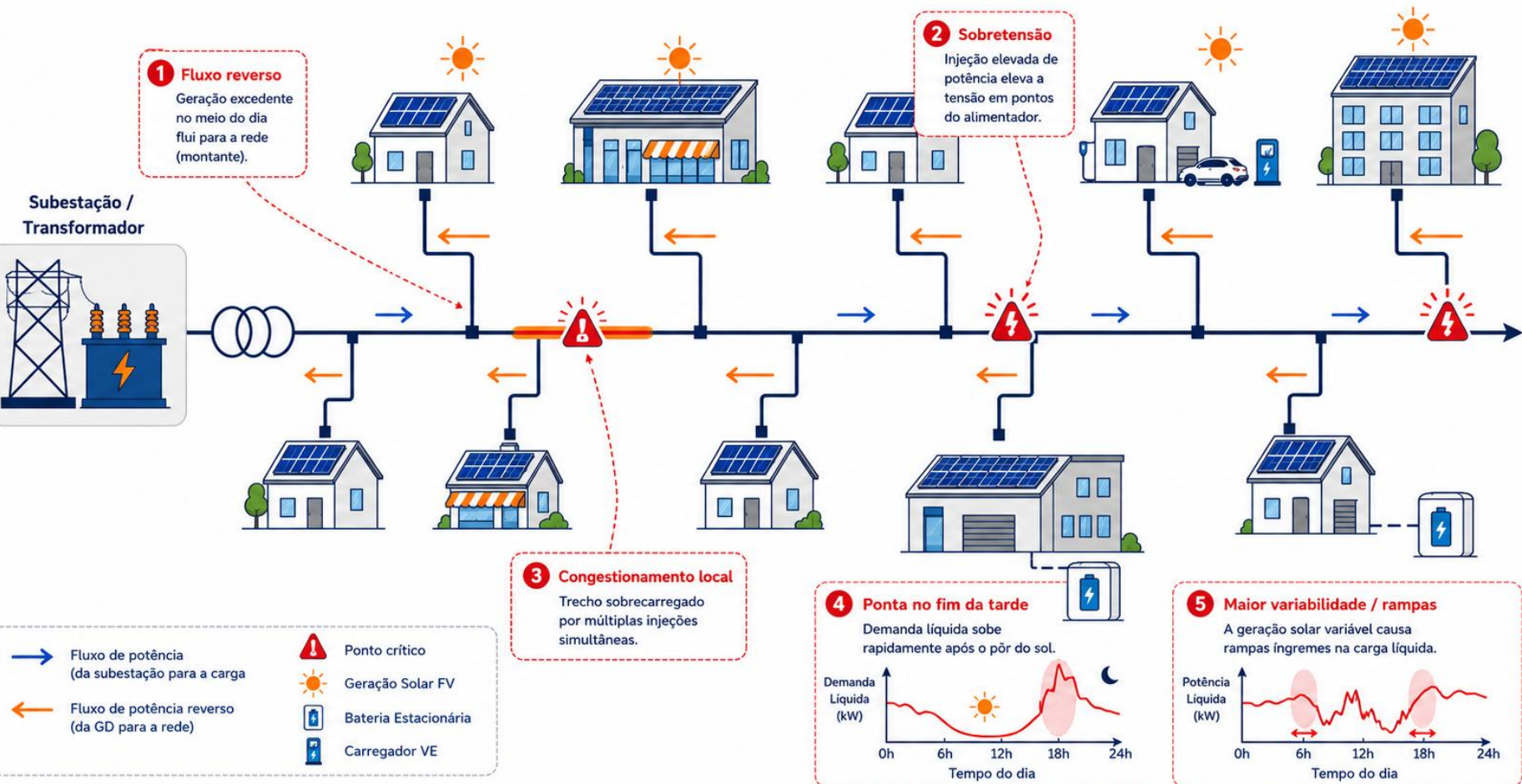
REDS: MMGD, BESS, veículos elétricos, cargas flexíveis, resposta da demanda e microrredes.

VPP opera como ponte entre transmissão, distribuição e recursos distribuídos

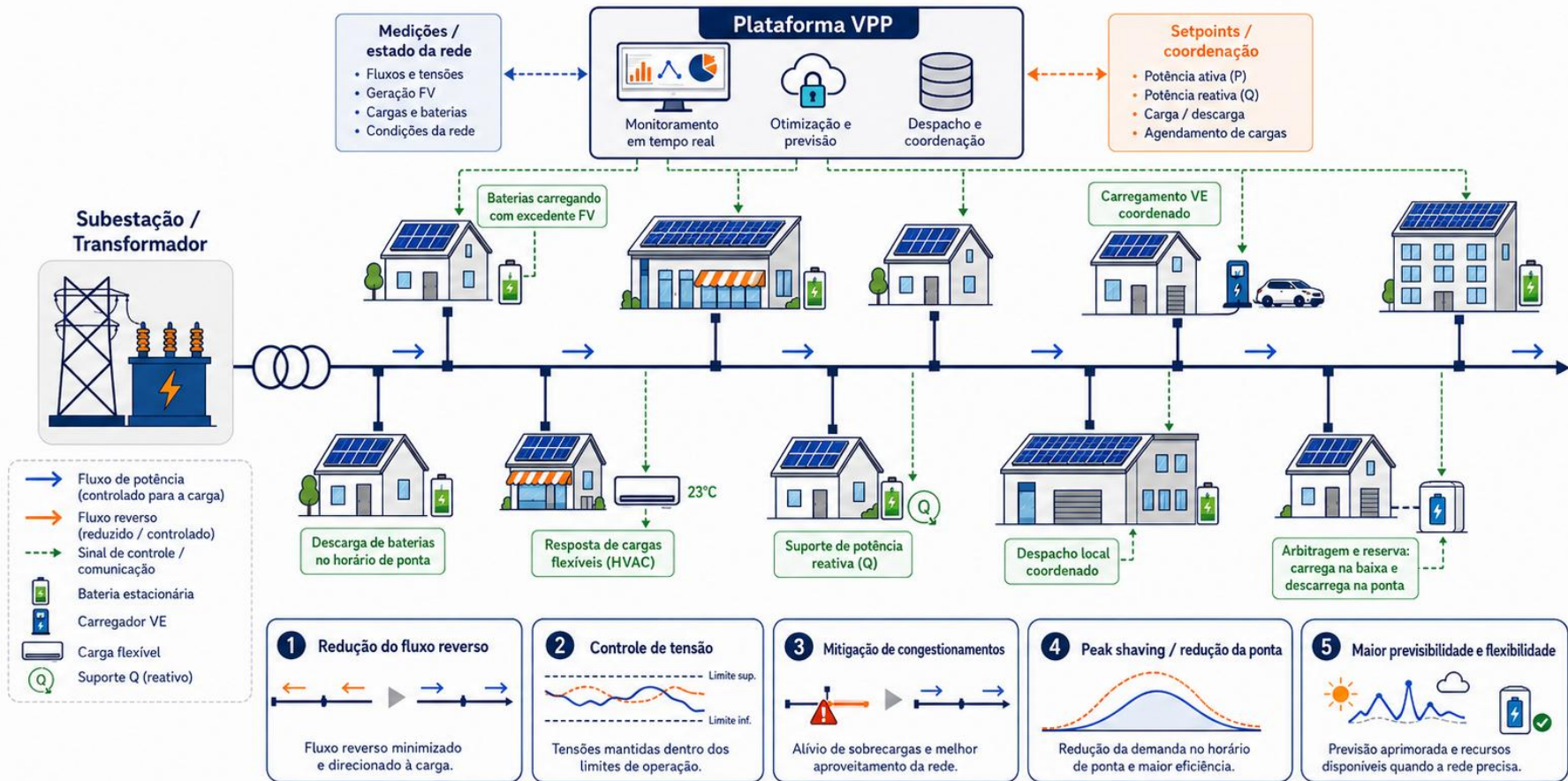
Alimentador com alta penetração de GD



Problemas operacionais em alimentadores com alta penetração de GD



Atuação da VPP em alimentador com alta penetração de GD



A VPP coordena os REDs para transformar variabilidade em suporte operacional à rede.

Fluxo Operacional da VPP

1. Medição

- Tensões, fluxos, geração, carga, SOC, disponibilidade dos REDs.

2. Previsão

- Geração renovável, demanda, demanda líquida e condições críticas da rede.

3. Otimização

- Definir a melhor estratégia para reduzir pico, controlar tensão, mitigar congestionamentos e aproveitar os REDs.

4. Despacho

- Enviar setpoints de P/Q, carga/descarga de baterias, recarga de VE e resposta da demanda.

5. Verificação e ajustes

- Medir a resposta da rede, comparar com os objetivos e atualizar a estratégia.



A VPP opera em malha fechada: mede, decide, atua e corrige continuamente.

Serviços entregues pela VPP

Para a distribuição

- Controle de tensão;
- Redução de fluxo reverso;
- Mitigação de congestionamentos;
- Alívio de transformadores e alimentadores.

Flexibilidade operacional

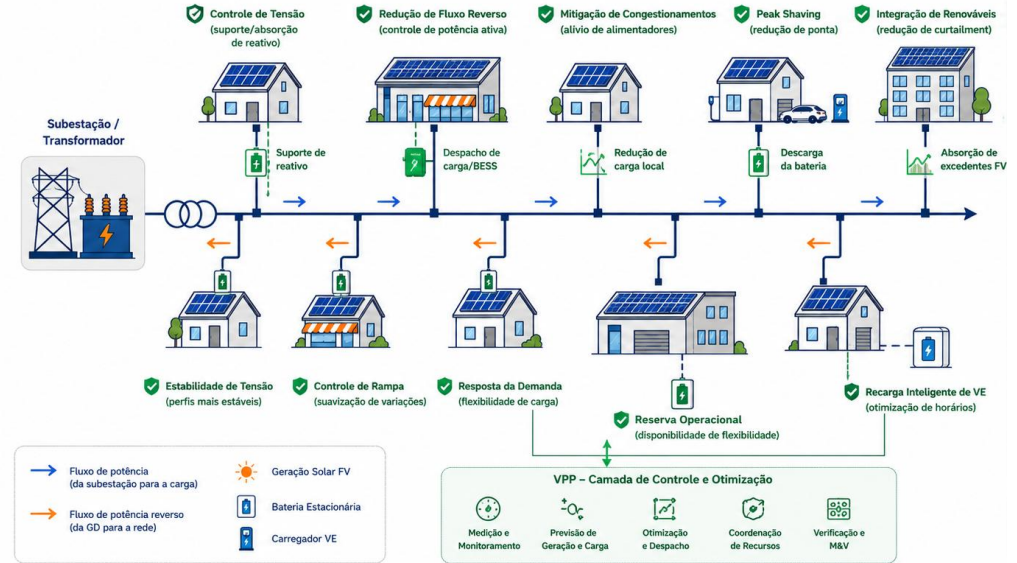
- Peak shaving;
- Resposta da demanda;
- Recarga inteligente de VE;
- Carga e descarga coordenada de BESS.

Integração renovável

- Redução de curtailment;
- Absorção de excedentes solares;
- Suavização de rampas;
- Maior previsibilidade da demanda líquida.

Coordenação sistêmica

- Suporte à coordenação TSO-DSO;
- Agregação de flexibilidade local;
- Resposta coordenada a solicitações operacionais.



Desafios para implantação de VPPs

Técnicos

- Interoperabilidade entre REDs, inversores, medidores e sistemas da distribuidora;
- Previsão de geração, carga e disponibilidade dos recursos;
- Comunicação, cibersegurança e validação em ambiente realista.

Operacionais

- Baixa visibilidade dos REDs em baixa e média tensão;
- Coordenação entre distribuidora, agregador e consumidor;
- Medição e verificação dos serviços prestados.

Regulatórios e comerciais

- Definição do papel do agregador;
- Remuneração da flexibilidade;
- Regras para resposta da demanda, serviços ancilares e coordenação TSO-DSO.

A implantação de VPPs não depende apenas de tecnologia: depende de coordenação institucional, regulação adequada e modelos de negócio para valorizar a flexibilidade distribuída.

Benefícios esperados da VPP

Operacionais

- Maior visibilidade e controlabilidade dos REDs;
- Controle de tensão e redução de congestionamentos;
- Redução de picos e rampas operacionais;
- Maior previsibilidade da demanda líquida.

Econômicos

- Melhor uso da infraestrutura existente;
- Postergação de reforços na rede;
- Valorização da flexibilidade distribuída;
- Novos modelos de negócio para consumidores, agregadores e distribuidoras.

Transição energética

- Maior integração de renováveis;
- Redução de curtailment;
- Suporte à eletrificação;
- Consumidor como agente ativo da operação.

VPP e o futuro das redes inteligentes

VPP como elemento estruturante das redes inteligentes

Rede ativa

- A distribuição passa a integrar geração, armazenamento, cargas flexíveis e fluxos bidirecionais.

Consumidor-recurso

- Consumidores com GD, BESS, VE e resposta da demanda tornam-se provedores potenciais de flexibilidade.

Coordenação digital

- A VPP complementa a expansão física da rede por meio de previsão, otimização, despacho e controle.

Integração sistêmica

- A flexibilidade local pode apoiar a operação da distribuição e, futuramente, a coordenação TSO-DSO.

Considerações Finais

- A distribuição está deixando de ser passiva e unidirecional.
- MMGD, BESS, veículos elétricos e cargas flexíveis tornam a rede mais dinâmica.
- Sem coordenação, esses recursos ampliam variabilidade, rampas, tensão e congestionamento.
- Com VPP, eles podem se tornar ativos coordenados de flexibilidade e suporte à rede.

A VPP transforma a complexidade distribuída em capacidade operacional coordenada.



LinkedIn: Mamour Ndiaye

Obrigado
mamour.ndiaye@cefet-rj.br