



# ***SMART-SEN: Um Modelo de Simulação do Sistema Elétrico Nacional com Presença de Geração de Renováveis Intermitentes: Impactos Operacionais, Regulatórios e Custos***

## **Equipe Básica:**

Prof. Dr. Paulo Barbosa  
Dr. Marcos Leone Filho

Prof. Dr. Warren Powell  
Dr. João R. C. Pires

Prof. Dr. Alberto Luiz Francato  
Dr. Fernando A. A. Prado

# Motivação

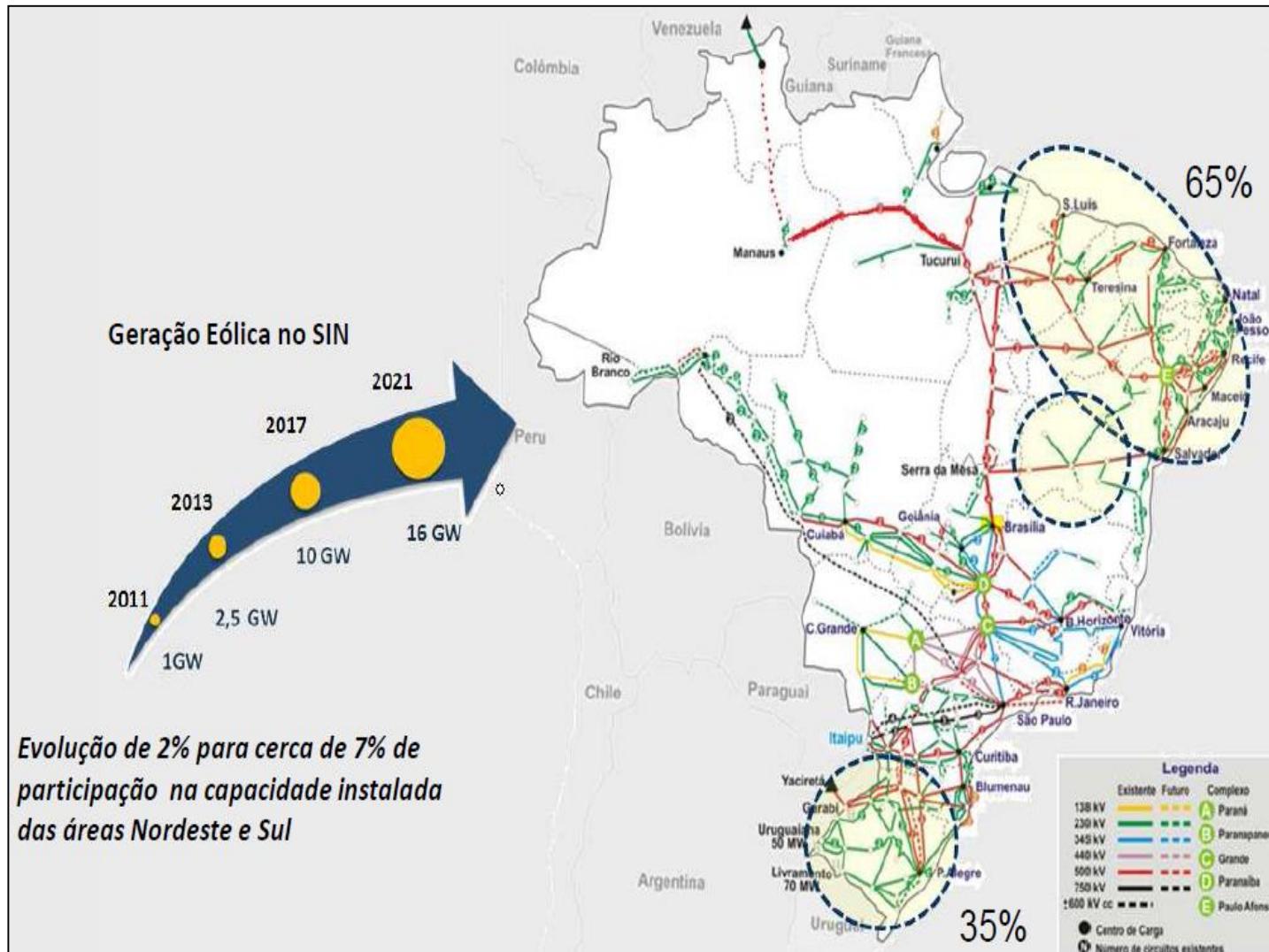
- Sistemas de potência:
  - **Demanda tempo real ≠ Produção de fontes intermitentes**
  - Realidade: penetração de energia eólica e solar é uma realidade no mundo todo
  - No Brasil:
    - Atualmente: Avanço progressivo da energia eólica
    - Até 2022: 9,5% de energia eólica

# Motivação

- Redução da entrada de hidroelétricas com reservatórios devido a aumento das restrições ambientais.
- Descasamento espacial entre a geração das diversas fontes
- Necessidade de aumento de térmicas (gás natural, carvão e nuclear) para geração na base.

# Motivação

A ampliação das eólicas se dá com diversidade regional:



# Motivação

**A partir da experiência internacional, surgem desafios devido à entrada de eólicas:**

- ▣ Necessidades crescentes de reserva para regulação de frequência e voltagem
- ▣ Necessidades crescentes de reserva girante
- ▣ Rampas de subida e descida mais rápidas
- ▣ Despachos menos eficientes das fontes convencionais

# Implicações no Planejamento da Operação

- Necessidade de disponibilidade de **reserva girante** para acomodação de flutuações de curtíssimo prazo ( de 1 a 15 minutos).
- Necessidade de **reserva de prontidão** para variações de curto prazo (horária) da carga.
- Necessidade de **adaptação das regras para o despacho ótimo no nível horário/diário.**

# Implicações no Planejamento da Operação

- Necessidade de aprimoramento das questões regulatórias e comerciais para **viabilizar a implementação em larga escala de sistemas manutenção de frequência e tensão.**
- Necessidade de se aumentar os **estudos de capacidade de transmissão.**
- Necessidade de **aprimoramento nos modelos de previsão de despacho de curtíssimo prazo** (redução liga/desliga de usinas).

# Proposta de Pesquisa

- Desenvolvimento de um **software de simulação que emule as regras de despacho e operação do sistema elétrico**, com discretização de minuto e horizonte diário ou semanal;
- Avaliar a capacidade de o sistema garantir confiabilidade de suprimento de energia elétrica na rede do SIN, **atendendo aos requisitos de controle de voltagem e frequência**;
- Realizar estudos do SIN para configuração atual e para diferentes **cenários futuros de mudança de matriz energética**;

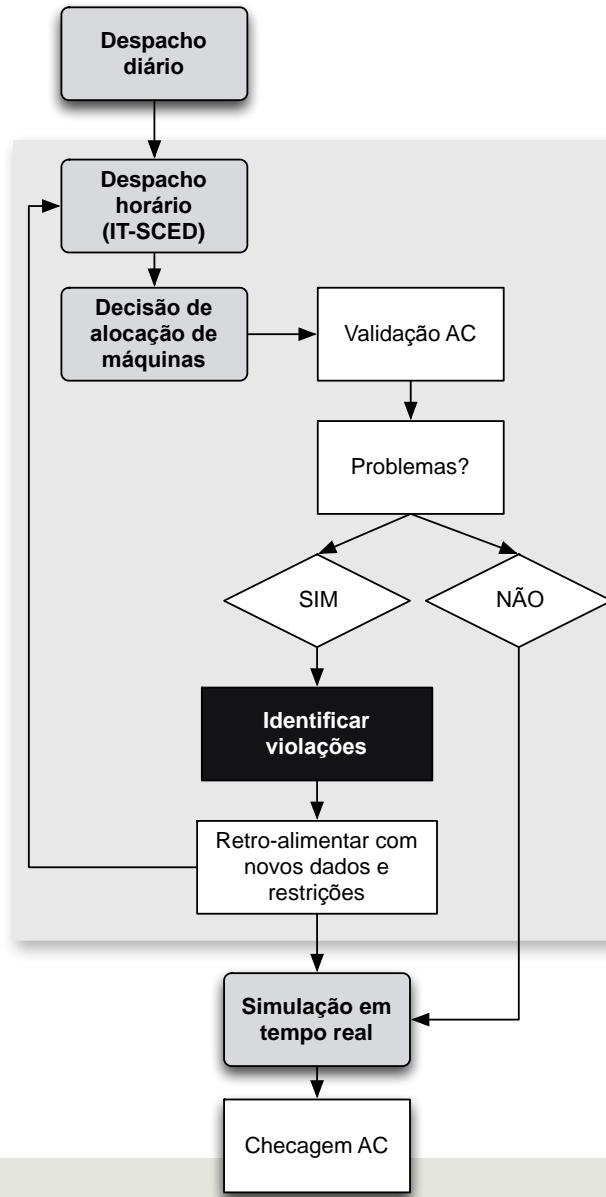
# Proposta de Pesquisa

- ❑ Identificar a **necessidade de promover expansão da capacidade de transmissão da rede, expansão da geração ou recursos de armazenamentos distribuídos na rede** de maneira a melhorar o nível de confiabilidade operativa;
- ❑ Avaliar o **cronograma viável de introdução das fontes renováveis no SIN**;
- ❑ Avaliar a **base regulatória e impactos comerciais** diante da introdução da produção de renováveis intermitentes;
- ❑ Computar **custos adicionais** (não computados nos leilões de geração eólica) que deverão ser considerados para viabilizar a entrada de geração eólica.

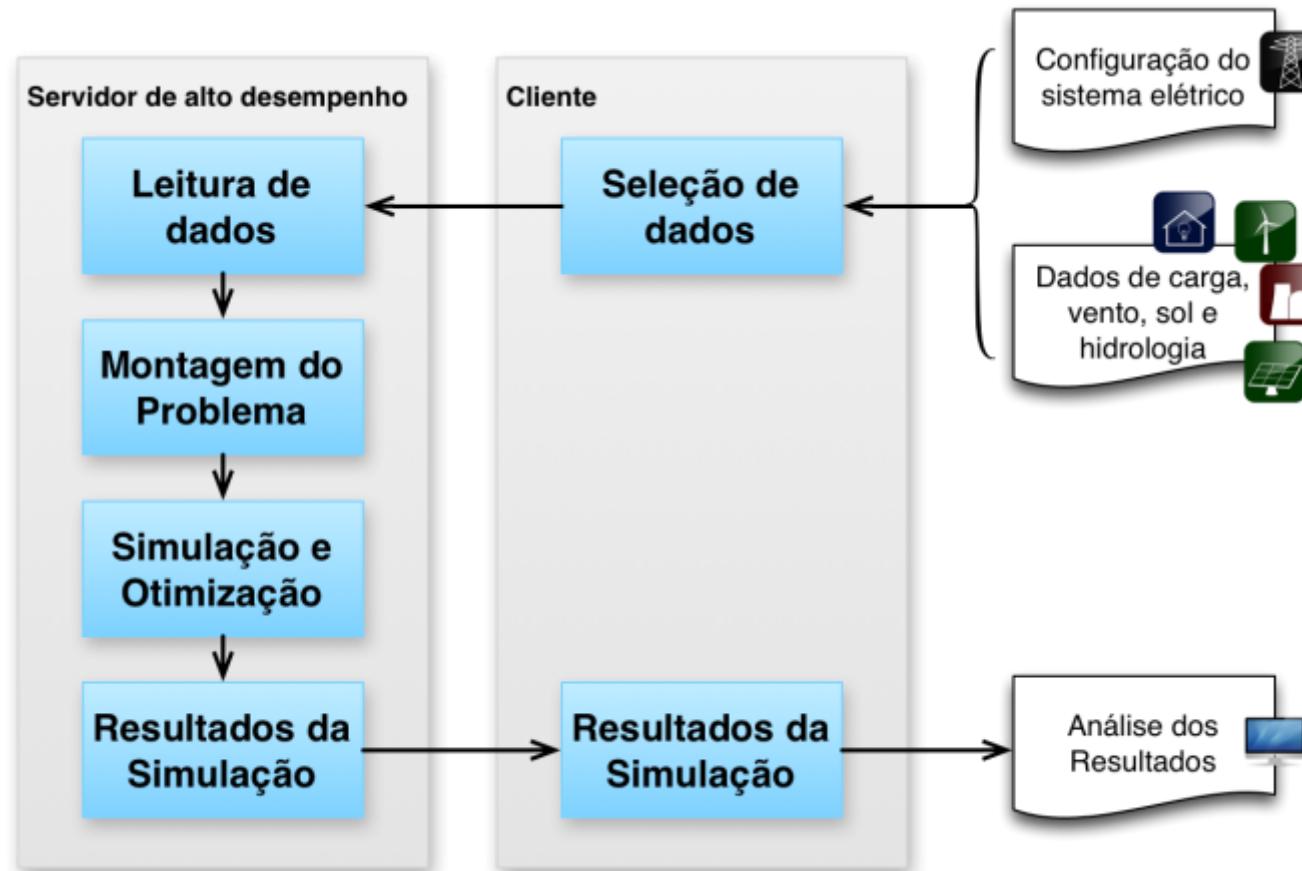
# SMART-ISO para a PJM

- Simulador de operação de sistemas de potência:
  - Visão detalhada do sistema de transmissão da PJM
  - Despacho de máquinas ótimo
  - Considera mercado spot de energia elétrica da PJM
  - Capaz de fazer simulações diversas
    - Com/sem eólicas
    - Diferentes níveis de geração eólica
    - Ampliação/modificação do grid
    - Análises de viabilidade e factibilidade

# SMART-SEN: Proposta de pesquisa



# SMART-SEN: arquitetura



# SMART-SEN: características de inovação

- ❑ Modelagem do efeito da entrada das fontes intermitentes no sistema interligado nacional, com avaliação dos seus impactos em escala de discretização de curtíssimo prazo que permita **capturar intervalos de tempo com ausência de produção eólica**, ou grande variações em curto intervalo de tempo;
- ❑ Simulação das **manobras operativas necessárias para compensar a ausência de produção eólica** ou garantir que a sua variabilidade não traga prejuízos à qualidade da energia suprida;
- ❑ Avaliação **das necessidades de reforços nos sistemas de transmissão**.

# SMART-SEN: produtos

- ❑ Nova metodologia de extração e manipulação de dados de operação (curtíssimo prazo e tempo real) com intermitentes
- ❑ **Software simulador da operação eletro-hidro-energética de curtíssimo prazo e tempo real para o SIN**
- ❑ Nova metodologia para indicação de locais potenciais para instalação de novos geradores intermitentes
- ❑ Nova metodologia para cálculo de custos marginais de operação provenientes da penetração de intermitentes

# Know-how

## ■ Equipe Unicamp:

- Grande experiência em modelagem do sistema hidrotérmico brasileiro para planejamento de médio e longo prazos
- Experiência em gestão de reservatórios, bacias e operação de hidrelétricas

## ■ Equipe Princeton:

- Grande experiência em modelagem de mercado de energia elétrica para planejamento de penetração de fontes intermitentes de energia elétrica
- Modelo SMART-ISO

# Cronograma

Etapa 1: Caracterização da Produção das Fontes Intermitentes e Avaliação de seus Impactos

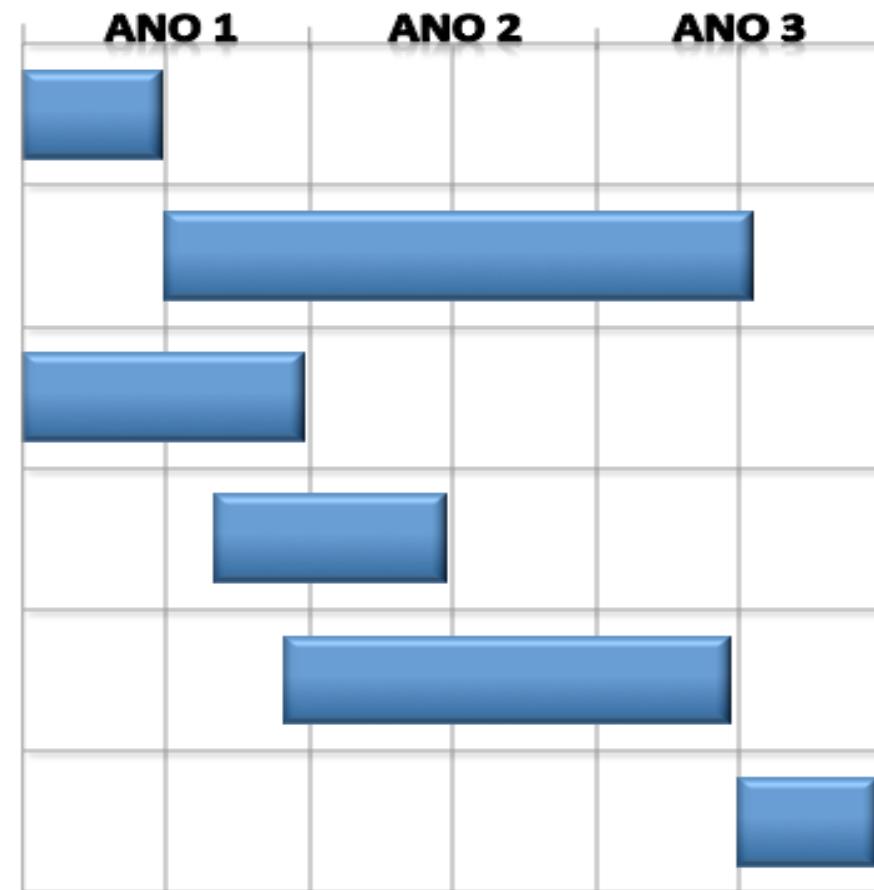
Etapa 2: Estudos Sobre a Base Regulatória e Impactos Comerciais

Etapa 3: Aquisição de Dados e Intercâmbio de Conhecimentos

Etapa 4: Integração e Simulação dos Fluxos na Rede do SIN

Etapa 5: Inclusão do Sistema de Reservatórios e Usinas Hidroelétricas no Modelo de Simulação

Etapa 6: Testes Finais e Validação do Modelo SMART-SEN



MS Project

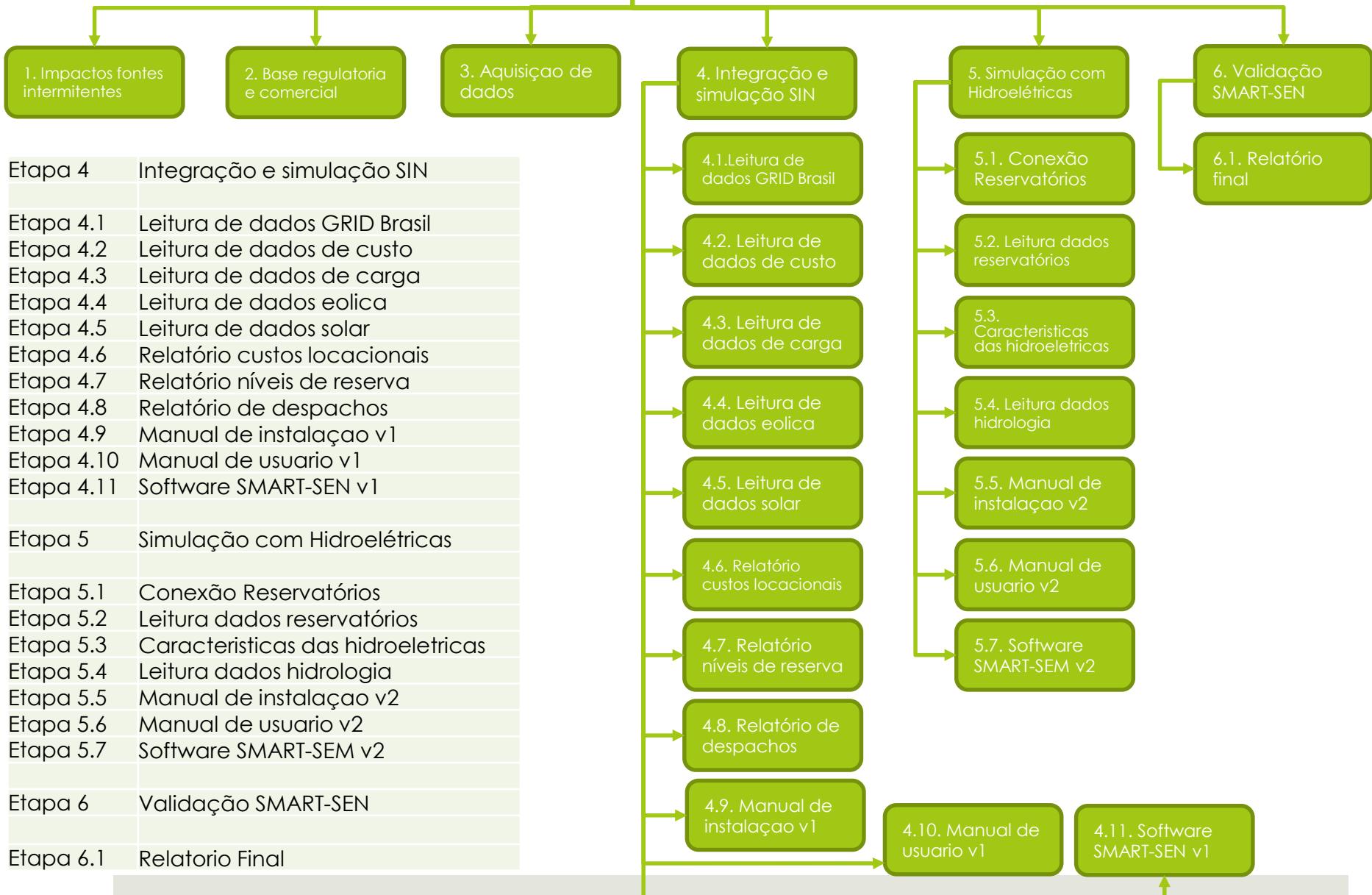
# WBS

## SMART-SEN



# WBS

## SMART-SEN



# PONTOS FORTES DO PROJETO

## 1) INEDITISMO:

- Não existe nada similar no Brasil
- A aplicação no exterior tem presença limitada de hidráulica

## 2) RELEVÂNCIA:

- Já começa a ser um problema para os agentes
- Crescimento esperado para o futuro próximo

## 3) APPLICABILIDADE:

- O software a ser desenvolvida utilizará a base de dados oficial do ONS
- A aplicação é realística e imediata para diversos tipos de estudos para os agentes (reservas e custos, subsídios para leilões, e reforços na transmissão)

## 4) RISCOS:

- Baixo risco diante de:
- Software prévio existente para o PJM
- Participação do ONS: Dados e expertise
- Participação de um pool de empresas: Visão dos agentes/contribuições regulatórias
- Equipe internacional e nacional extremamente qualificados



Obrigado!

**Prof. Alberto Luiz Francato**  
[francato@fec.unicamp.br](mailto:francato@fec.unicamp.br)