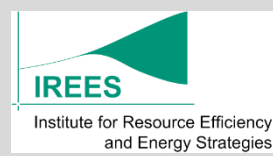




PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



TEP

Fraunhofer
ISI



Tendências
consultoria integrada

Modelo Integrado de Planejamento da Oferta e Demanda de Energia Elétrica

Prof. Rodrigo Flora Calili
Programa de Pós-graduação em Metrologia

Prof. Reinaldo Castro Souza
Departamento de Engenharia Industrial

Rio de Janeiro, 16 de maio de 2018

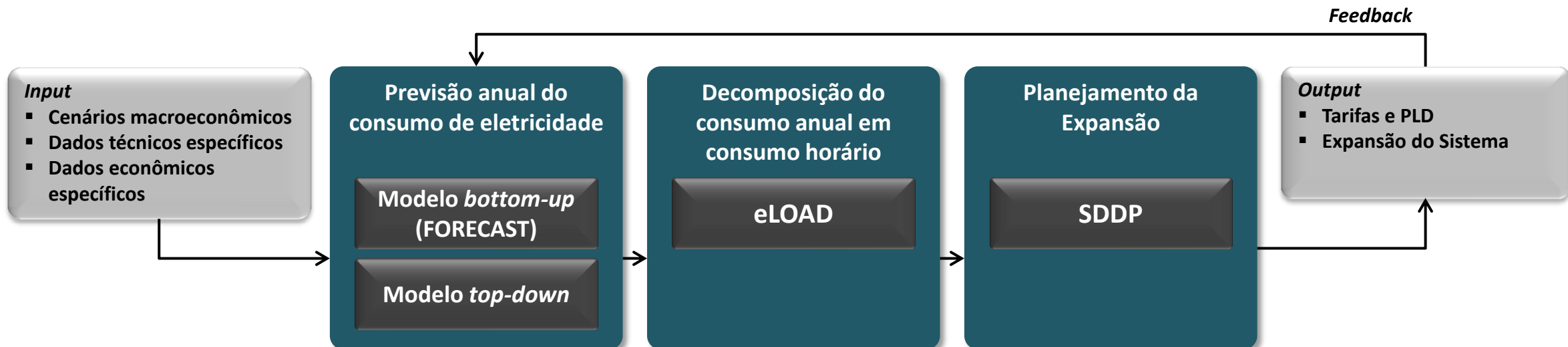
- Introdução
- Desenvolvimento e Resultados
 - FORECAST - Setor Residencial
 - FORECAST - Industrial
 - FORECAST - Terciário
 - FORECAST - Brasil
 - eLOAD
- Caso-teste da integração FORECAST-eLOAD-SDDP
- Próximos passos

- Projeto de P&D Aneel - PD-7625-0003/2014 - intitulado “Sistema Integrado de Apoio à Elaboração de Cenários de Projeção de Demanda e Planejamento da Geração”.
- Projeto patrocinado pela empresa ENEVA.
- Projeto realizado com a parceria de diversas instituições: PUC-Rio (+ IREES, Fraunhofer ISI, TEP), PSR e Tendências.



Desenvolvimento de uma ferramenta que permita a integração de cenários *bottom-up* de demanda de médio e longo prazo com cenários de expansão do SIN

- Para alcançar este objetivo, o projeto estabeleceu uma cooperação técnica com o *Fraunhofer Institut, TEP Energy* e *IREES*, líderes em modelagem energética na Europa e no mundo.





- Metodologia já utilizada em todos os países da EU, Noruega, Suíça, Taiwan e Turquia.
- A ferramenta proposta é capaz de avaliar o impacto de médio e longo prazo de **políticas energéticas** e de **mudanças tecnológicas** no (i) consumo anual e no consumo horário de eletricidade e (ii) no planejamento da expansão.
- O projeto mapeou e produziu dados desagregados para o Brasil em um esforço de se construir uma base de dados consistente para a **modelagem de usos finais** do consumo de eletricidade Brasileiro
 - Por exemplo, para o setor industrial, 79 processos – distribuídos por 11 subsetores da indústria – foram mapeados; sendo obtidas informações por processo do consumo específico de eletricidade, produção anual, etc.
- **Realimentação dos resultados de planejamento da expansão do SDDP** nos modelos de demanda *bottom-up*.
- O modelo de planejamento da expansão foi preparado para receber **dados horários**.



Tipo	Publicado	Submetido	Em desenv.	Total
Dissertação de Mestrado	1	-	-	1
Tese de Doutorado	1	-	-	1
Artigos em Periódicos	5	1	5	11
Artigos em Conferências	6	-	-	6
Resumos em Conferências	4	-	-	4
Total	13	2	8	23

Trabalhos publicados

- Dissertação de Mestrado: Paula Maçaira;
- Tese de doutorado: Felipe Leite (terminada); Danilo Carmo (em andamento);
- Artigos em Periódicos: Procedia Computer Science 2015 (3), IEEE Latin America Transactions 2016 (1), Energy (1);
- Artigos em Conferências: SBPO 2014 (2), SBPO 2016 (1), EEM 2016 (1);
- Resumos em Conferências: EURO 2015 (1), ISF 2015 (1), EURO 2016 (1), ISF 2016 (1).

Coleta de dados

- Falta de informação desagregada para variáveis importantes dos modelos, e.g.:
 - No residencial, posse de equipamento por classe de eficiência por região;
 - Área média por subsetor do terciário e por região;
 - No industrial, potência instalada e horas de operação por equipamento, processos, etc.
- Mapeamento de medidas de eficiência energética (EEMs).
- Não foi encontrada referência de perfis de carga por equipamento por região e por setor.

Principais Desenvolvimentos

- Desenvolvimento de curvas de difusão para EEMs e para equipamentos.
- Identificação de processos e de tecnologias transversais na indústria Brasileira.
- Regionalização de dados que não estavam disponíveis por região.
- Previsão até 2050 de variáveis altamente desagregadas.
- Desenvolvimento de perfis de carga por equipamento.



PUC-Rio

Desenvolvimentos e Resultados

Setor Residencial

Desenvolvimentos e Resultados

- FORECAST-Residencial é dividido em três módulos: *MacroResidential*, *Appliances* and *EnergyBalanceCalibration*.
- Os principais *drivers* da plataforma são:
 - Dados econômicos
 - ✓ Números de consumidores
 - ✓ Preço de energia
 - Dados de tecnologias (*appliances*)
 - ✓ Estoque
 - ✓ Tempo de vida
 - ✓ Consumo específico de energia

5 regiões

Regions	
1	South
2	Southeast
3	Midwest
4	Northeast
5	North

7 “subsetores”

Subsectors	
1	Refrigerator
2	Freezer
3	Washing machine
4	Television
5	Electrical shower
6	Lighting
7	Air conditioning

6 classes de eficiência

Efficiency classes	
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E
6	F



- Formalização do manual da metodologia do *FORECAST-Residential* em parceria com a equipe alemã do projeto.
- Estimação da taxa de posse dos equipamentos por uso final de 2005 a 2013, por meio de uma taxa de crescimento esperada (uso das PPHs desenvolvidas pela PUC).
- Estimação da curva *Bass* por equipamento para cada região do Brasil.
- Uso das classes de eficiência dos equipamentos e estoques dos equipamentos (INMETRO e PROCEL).
- Pesquisa e inserção no sistema dos dados de custo de investimento, de manutenção e vida útil dos equipamentos por região e por classe de eficiência (etiqueta ENCE / INMETRO).
- Estudo da implementação do “New and others category” no *FORECAST-Residential*.



■ *Frozen diffusion* (linha de base)

- O consumo específico de eletricidade (SEC) dos equipamentos em 2050 é considerado o mesmo de 2014.

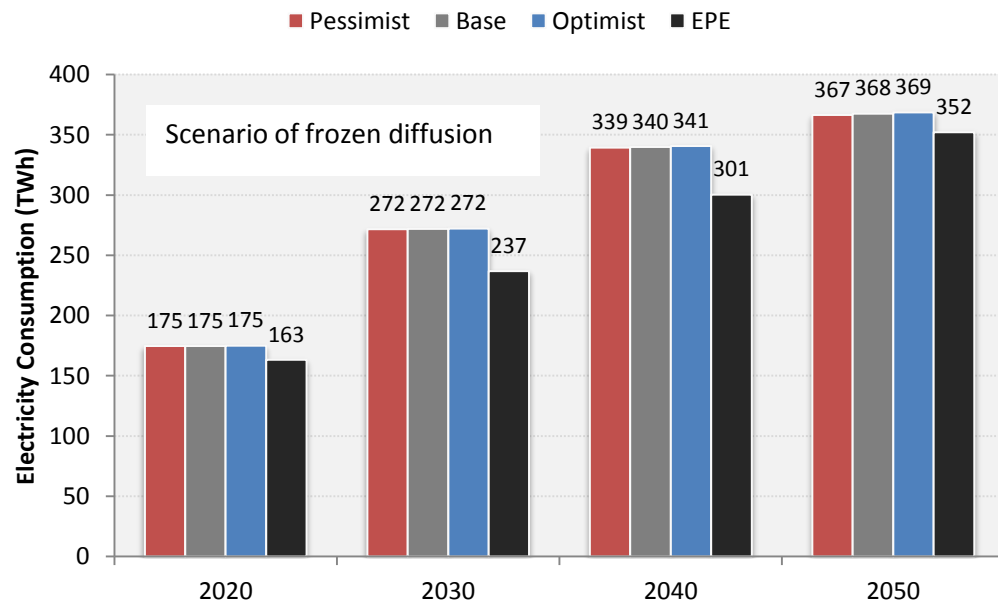
■ *Continuous diffusion*

- Os equipamentos são considerados mais eficientes em 2050 quando comparados com 2014, e o SEC é considerado menor em 2050 do que em 2014.

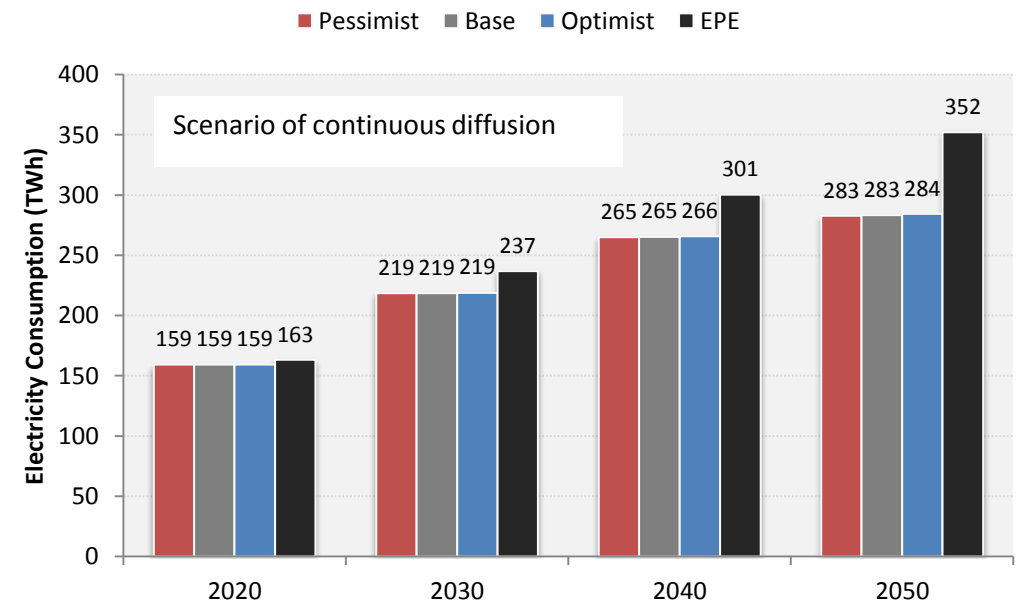
$$SEC_{year} = (hours\ in\ operation_{year} * power\ in\ operation) + (hours\ in\ standby_{year} * power\ in\ standby)$$

Lighting (kWh/unit)		
2014	2050	
	Frozen	Continuous
62,71	62,71	42,1

Consumo de eletricidade para o *frozen* diffusion scenario



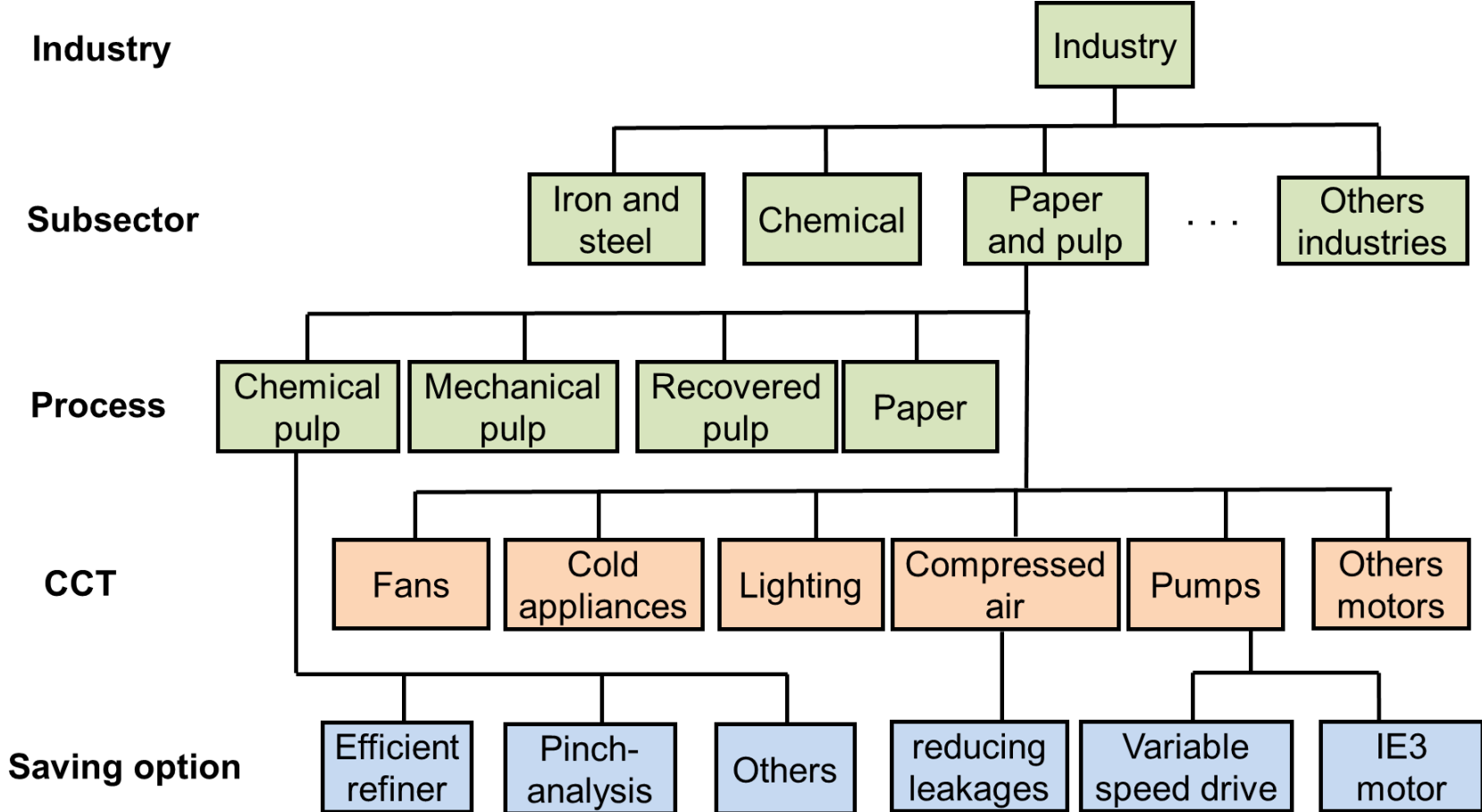
Consumo de eletricidade para o *continuous* diffusion scenario



Setor Industrial

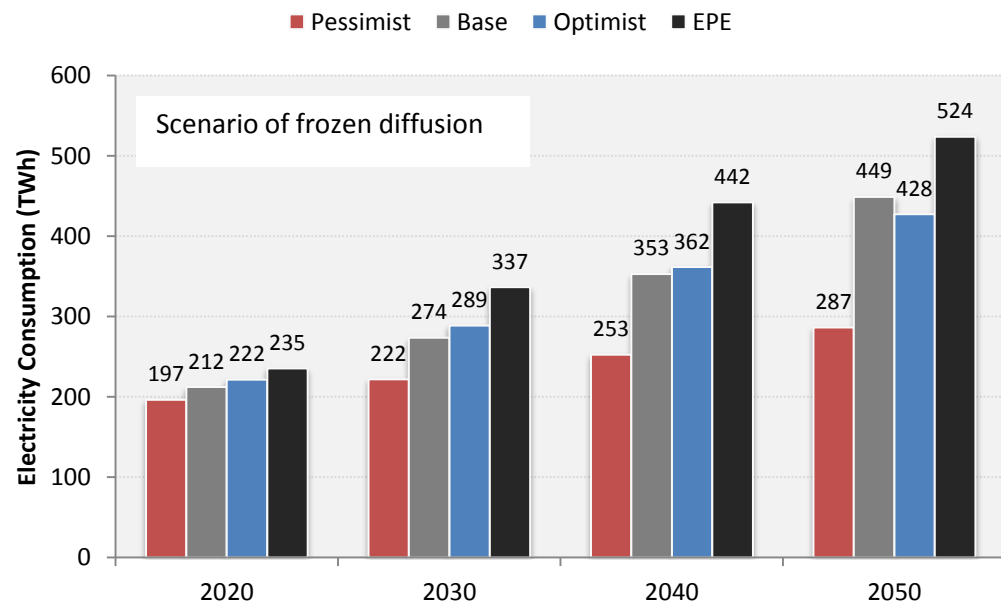
Desenvolvimentos e Resultados

▪ Estrutura hierárquica do FORECAST-Industry

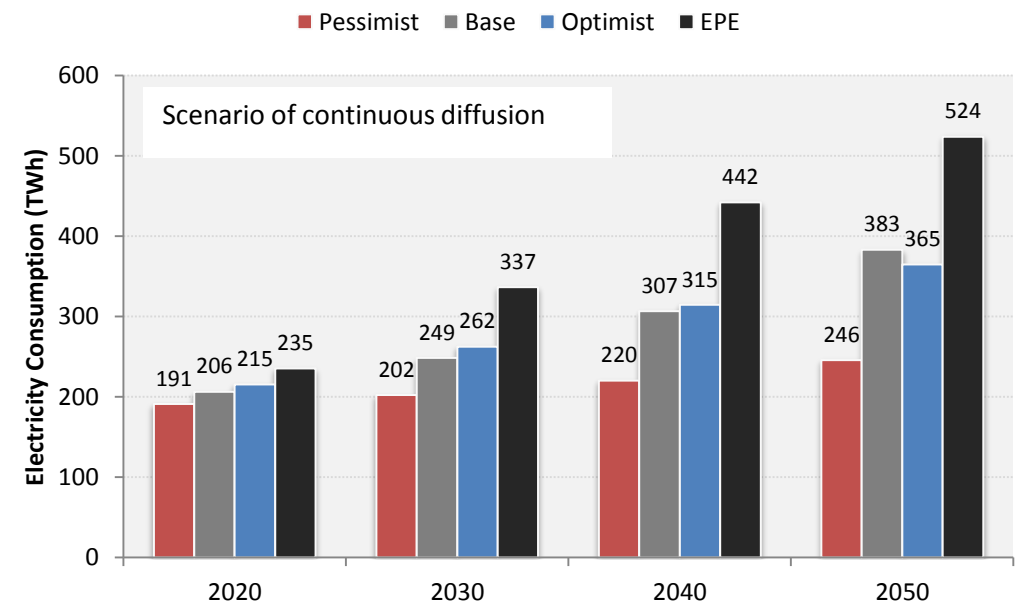


- Método para se obter o **percentual de eletricidade consumida em cada CCT** (tecnologias transversais).
- Método para se obter o **consumo específico de energia** por processo.
- Metodologia para **regionalização dos dados**.
- **Previsão de 315 séries históricas da produção** por processo:
 - Modelo Holt com *damped trend* (3º workshop);
 - Modelos de regressão dinâmica (4º workshop).
- Curvas de difusão tecnológica para as medidas de eficiência energética (EEMs):
 - Função Logística (estimação dos parâmetros para o Brasil).

Consumo de eletricidade para o *frozen* diffusion scenario



Consumo de eletricidade para o *continuous* diffusion scenario



No caso do industrial, é possível obter os cenários de difusão **autônomo** e **induzido**.

- *Variação anual (avg.) do PIB por período (% a.a.)*

Período	PIB (EPE)	PIB (Tendências)
2013 - 2030	2,6%	1,6%
2030 - 2040	4,0%	2,6%
2040 - 2050	2,7%	2,4%
2013 - 2050	3,0%	2,1%

Setor Terciário

Desenvolvimentos e Resultados



- A metodologia consiste de uma “**soma-produto**” dos **global drivers** (e.g.: número de empregados e área de piso), dos **specific energy services drivers** (e.g.: número de computadores por empregado) dos **specific energy consumption indicators** (e.g.: potência instalada, horas de utilização)
- Os elementos-chave desta modelagem são os **energy services**, as **EEMs** e a representação técnico-econômica.
- EEMs podem reduzir as potências instaladas e/ou as horas de utilização das **energy services**.
- A penetração das EEMs de cada subsetor é modelada pelas **curvas de difusão tecnológica**.

- Descrição forma do modelo:

$$T_t = \sum_{R=1}^n \sum_{S=1}^l \sum_{E=1}^k G_{C,S,t} \cdot D_{C,S,E,t} \cdot P_{C,S,E} \cdot U_{C,S,E} \cdot \prod_{EEM=1}^x (1 - \Delta DR_{C,S,E,EEM,t} \cdot \Delta P_{C,S,E,EEM}) \cdot \prod_{EEM=1}^x (1 - \Delta DR_{C,S,E,EEM,t} \cdot \Delta U_{C,S,E,EEM})$$

Exemplo de uma “energy service” para uma opção de EEM

$$\text{Empl} \cdot \frac{\text{\# of Computers}}{\text{Empl}} \cdot \frac{W}{\text{Computer}} \cdot h \cdot (1 - \text{Diffusion of laptops substituting PCs} \cdot \text{relative reduction of } W) \cdot (1 - \text{Diffusion of laptops substituting PCs} \cdot \text{relative reduction of } h)$$

T_t : total bottom-up electricity demand of the tertiary sector (kWh)

$G_{C,S,t}$: global driver (# of empl, m²)

$D_{C,S,E,t}$: energy service driver (computers per employee)

$P_{C,S,E}$: installed power per unit of driver

$U_{C,S,E}$: utilisation rate (h/a)

$\Delta DR_{C,S,E,EEM,t}$: diffusion rate of the EEM (%)

$\Delta P_{C,S,E,EEM}$: relative reduction of installed power by energy efficiency option (%)

$\Delta U_{C,S,E,EEM}$: relative reduction of utilisation rate by energy efficiency option (%)

R: regions of Brazil, n = 5

S: subsectors, l = 8

E: energy services, k = 13

EEM: energy efficiency options



5 regiões

Regions	
1	South
2	Southeast
3	Midwest
4	Northeast
5	North

8 subsetores

Subsectors	
1	Wholesale and retail trade
2	Hotels, cafes, restaurants
3	Traffic and data transmission
4	Finance
5	Health
6	Education
7	Public offices
8	Other services

14 energy services

Energy Services	
1	Lighting
2	Lighting street
3	ICT office
4	ICT data centers
5	Ventilation and air-conditioning
6	Circulation pumps and other heating auxiliaries
7	Electric heating
8	Heat pumps
9	Hot water
10	Elevators
11	Misc. building technologies
12	Cooking
13	Laundry
14	Refrigeration

36 saving options (baseada políticas Europeias e Brasileiras)

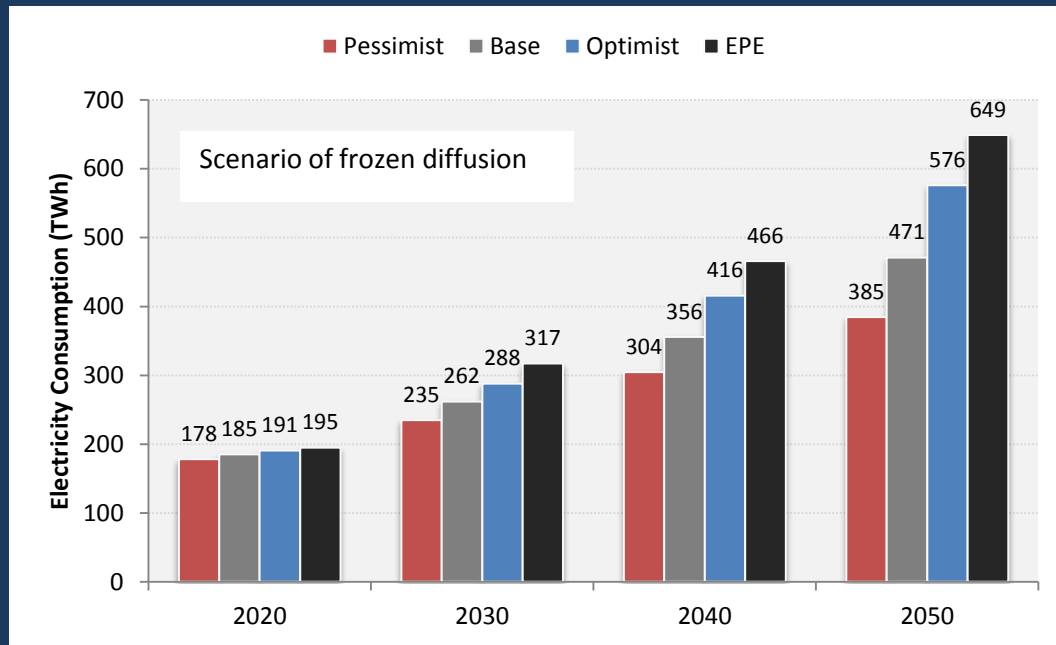
Saving Options	
1	Replacement of HP Mercury by HP Sodium lamps
2	High efficient HP Sodium lamps
3	Electronic dimmable ballasts and telemanagement
4	Laptops substituting desktop PCs.
5	Saving Option bundle for desktop PCs
6	Saving Option bundle for Laptops
7	Saving Option bundle for other equipment (printer)
8	LCD instead of CRT monitors for desktop PCs
9	Replacement of conventional lighting by LEDs
...	
36	Laundry



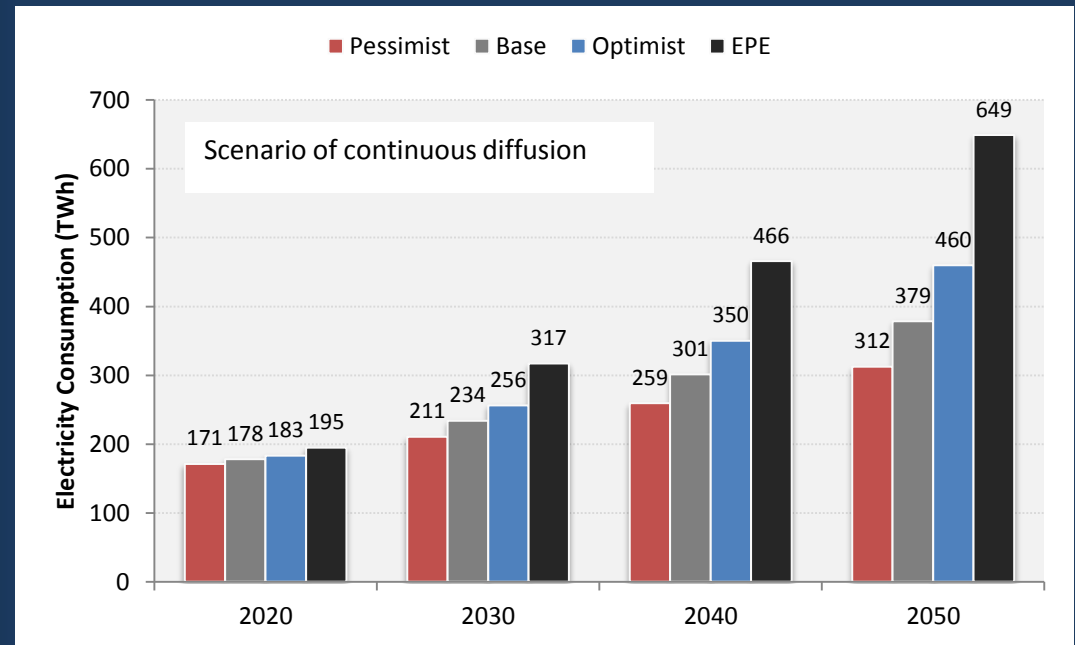
- Implementação de um módulo mais simples no FORECAST-Tertiary para determinação do *specific floor area* (spFA). Na Alemanha se considera o *retrofit*.
- Estimação da *mean floor area* (m²) baseada em experiências europeias e dados da PPH PROCEL de 2005.
- Calibração da base de dados e dos parâmetros do modelo (e.g.: curva de difusão) para se obter as projeções mais acuradas possível.
- Previsão do número de empregados por subsetor por região baseada em *moving average filter* e no crescimento do PIB dos setor de serviços.
- Estimação dos parâmetros da curva de difusão das EEMs com algoritmo genético
 - Estimação das curvas de difusão das EEMs variando os parâmetros dos parâmetros estimados para a Europa.



Consumo de eletricidade para o *frozen diffusion scenario*



Consumo de eletricidade para o *continuous diffusion scenario*



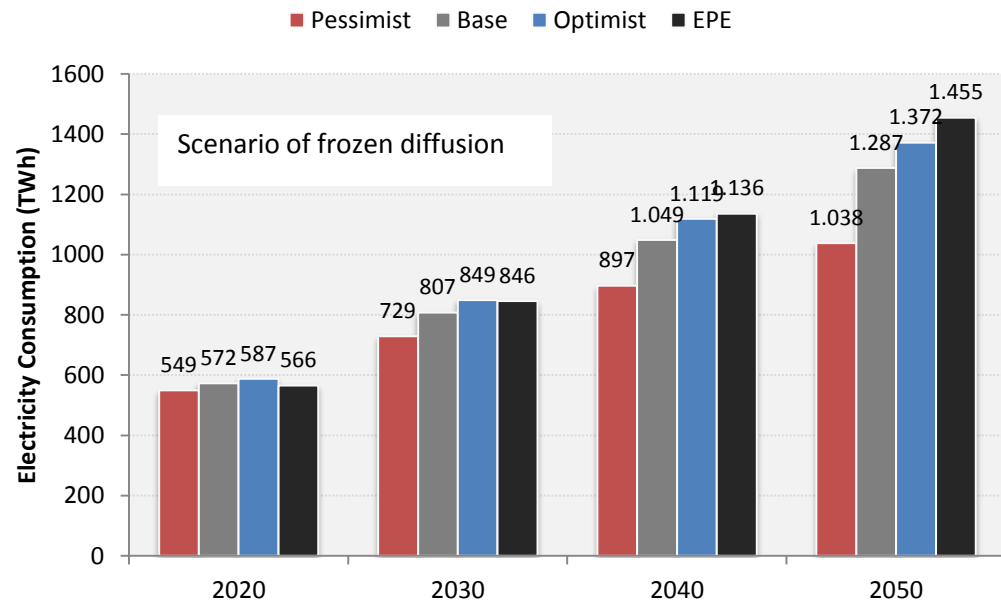
No caso do Terciário, também é possível obter os cenários de difusão **autônomo** e **induzido**.

Para efeito de comparação com o PNE (EPE), nós adicionamos o consumo da classe Rural e Consumo Próprio aos resultados obtidos no FORECAST-Tertiary.

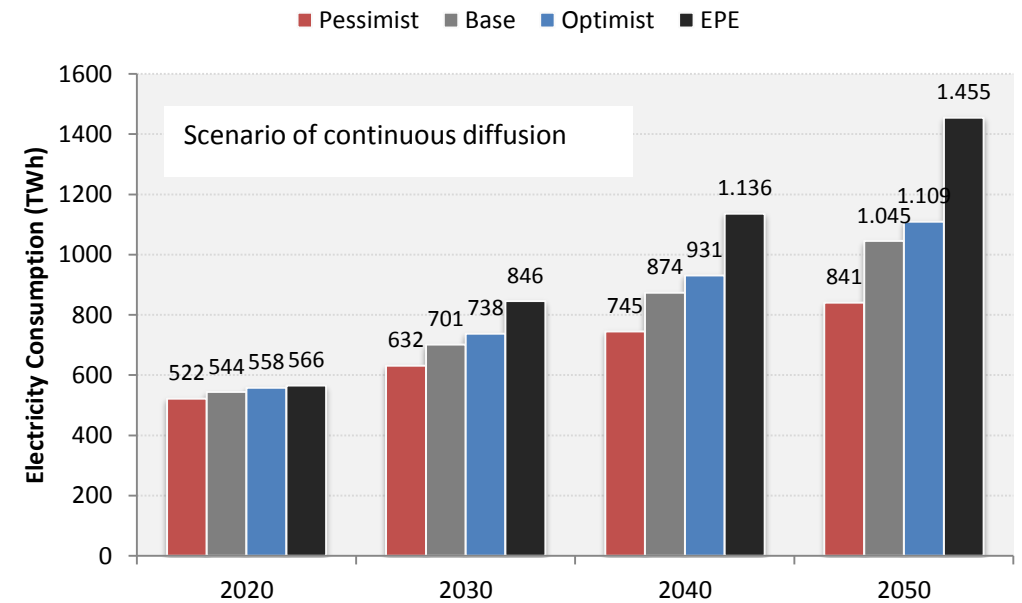
Brasil

Resultados

Consumo de eletricidade para o *frozen* diffusion scenario



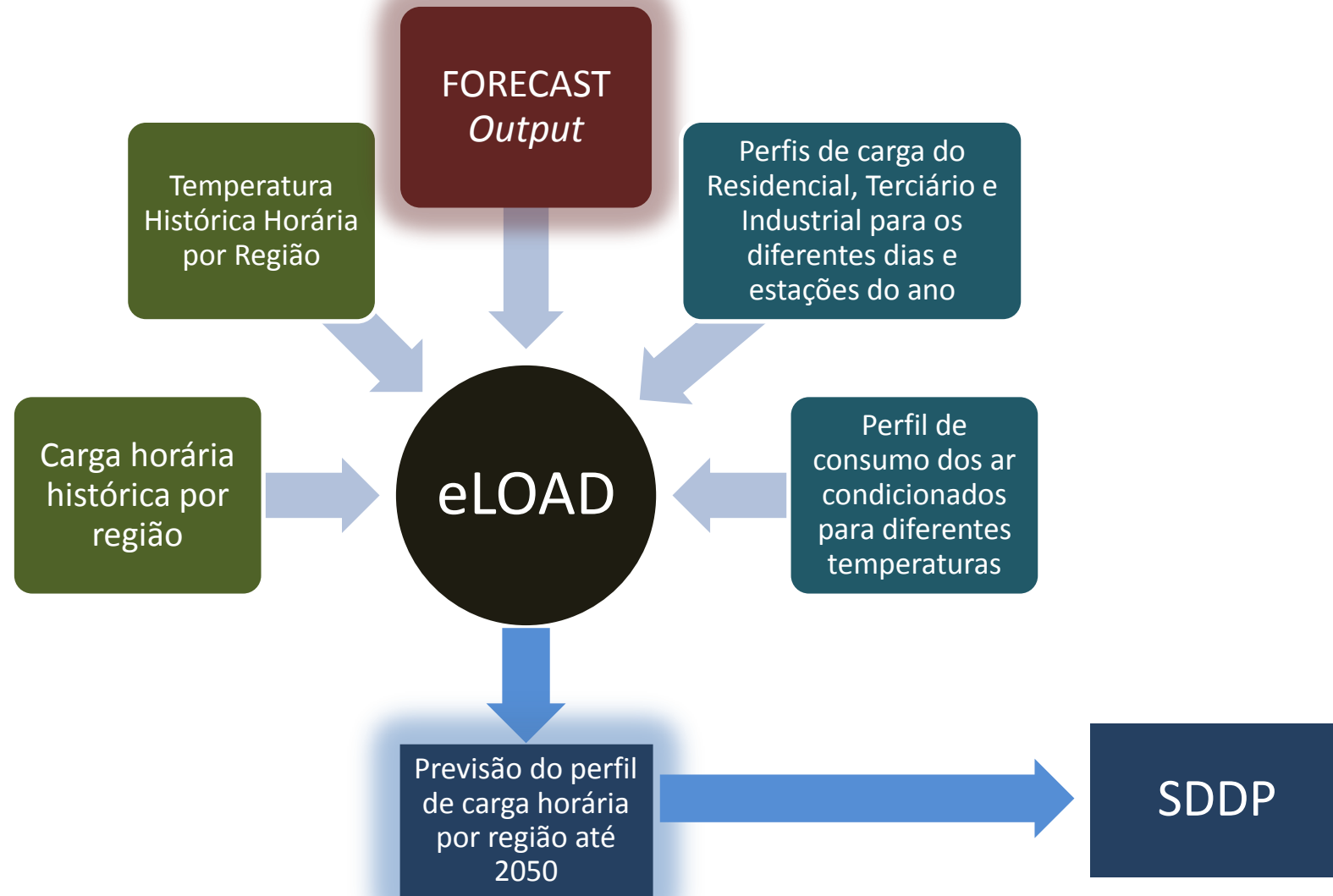
Consumo de eletricidade para o *continuous* diffusion scenario



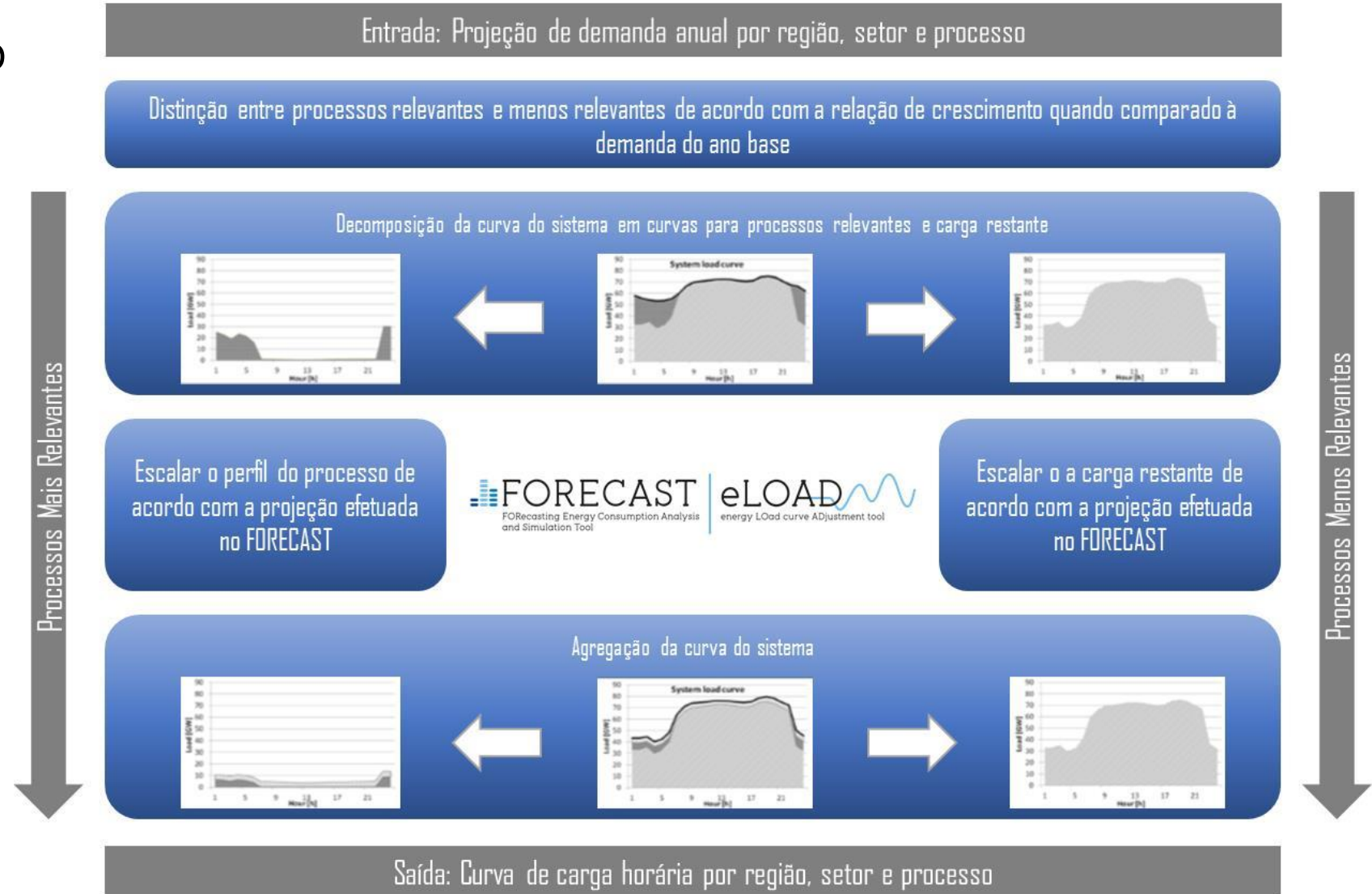
eLOAD

Developments and Results

- Estrutura do eLOAD



- Estrutura do eLOAD



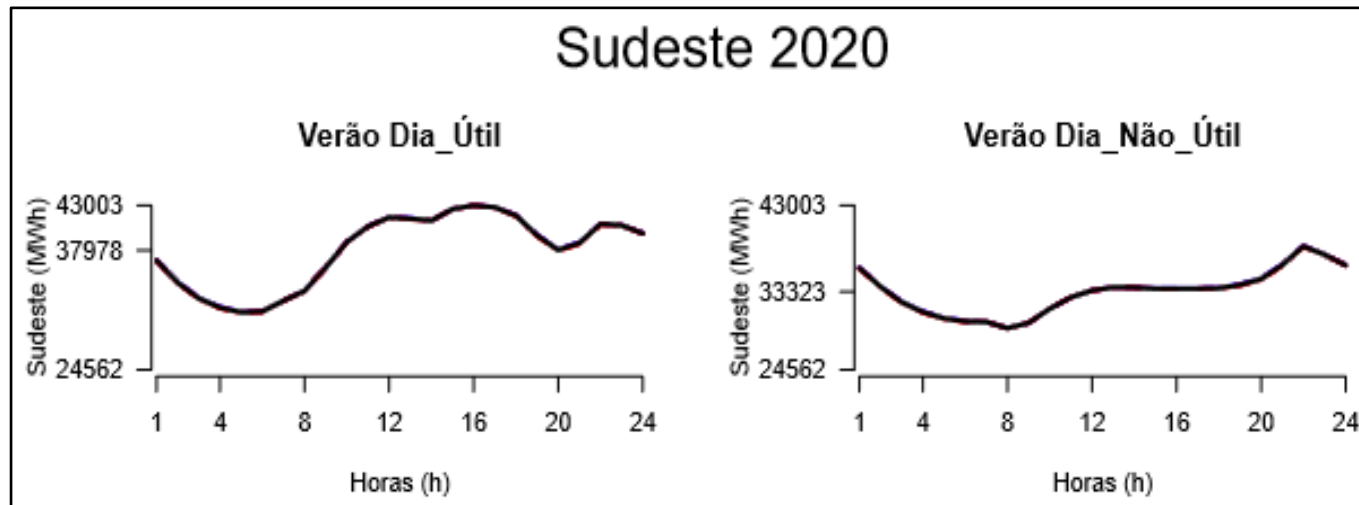
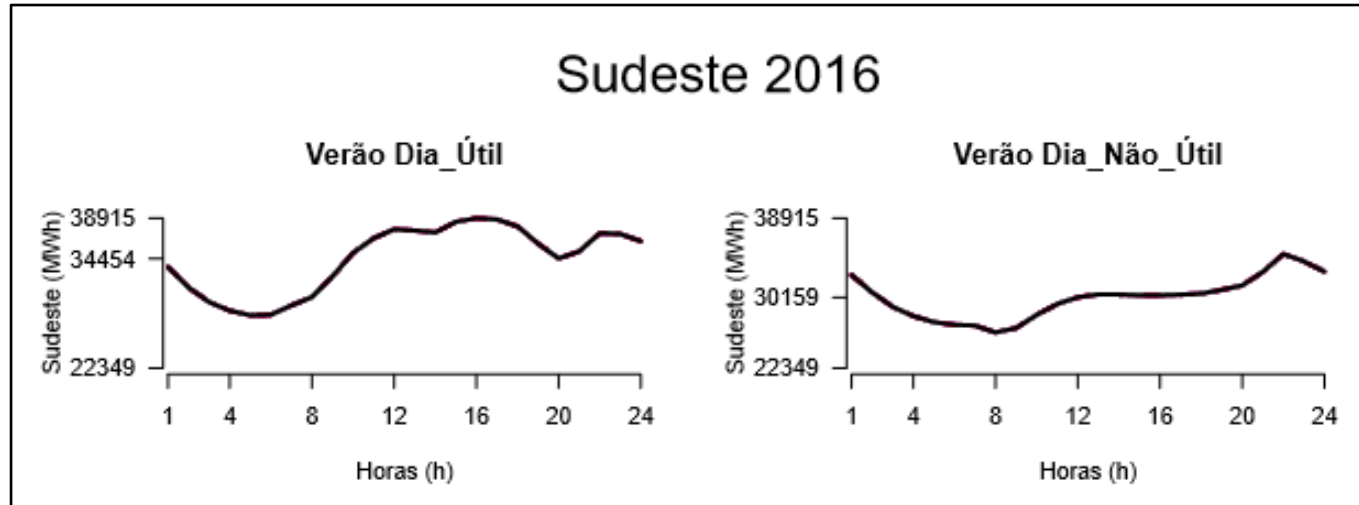
- Obtenção/pesquisa do **consumo horário** e dados de **temperatura** por região.
- Obtenção/pesquisa dos perfis de carga por equipamento e por subsetor, considerando dias típicos e estações.
- Desenvolvimento dos perfis de carga não existente junto com a equipe Alemã:
 - 5 regiões.
 - 7 residential appliances, 8 tertiary subsectors and 11 industrial subsectors.
 - 3 tipos de dias (sábado domingo e dias da semana).
 - 3 estações do ano (verão inverno e meia-estação).
- Desenvolvimento dos perfis de curvas dos **ar-condicionados** para diferentes temperaturas.
 - 5 regiões.
 - 1 appliance of residential and 1 energy service for each tertiary subsector.
 - 35 diferentes valores de temperatura “inputados”.

315 load profiles for residential
360 profiles for tertiary
495 profiles for industrial

175 load profiles for residential
1400 load profiles for tertiary

Total of 2745 new profiles

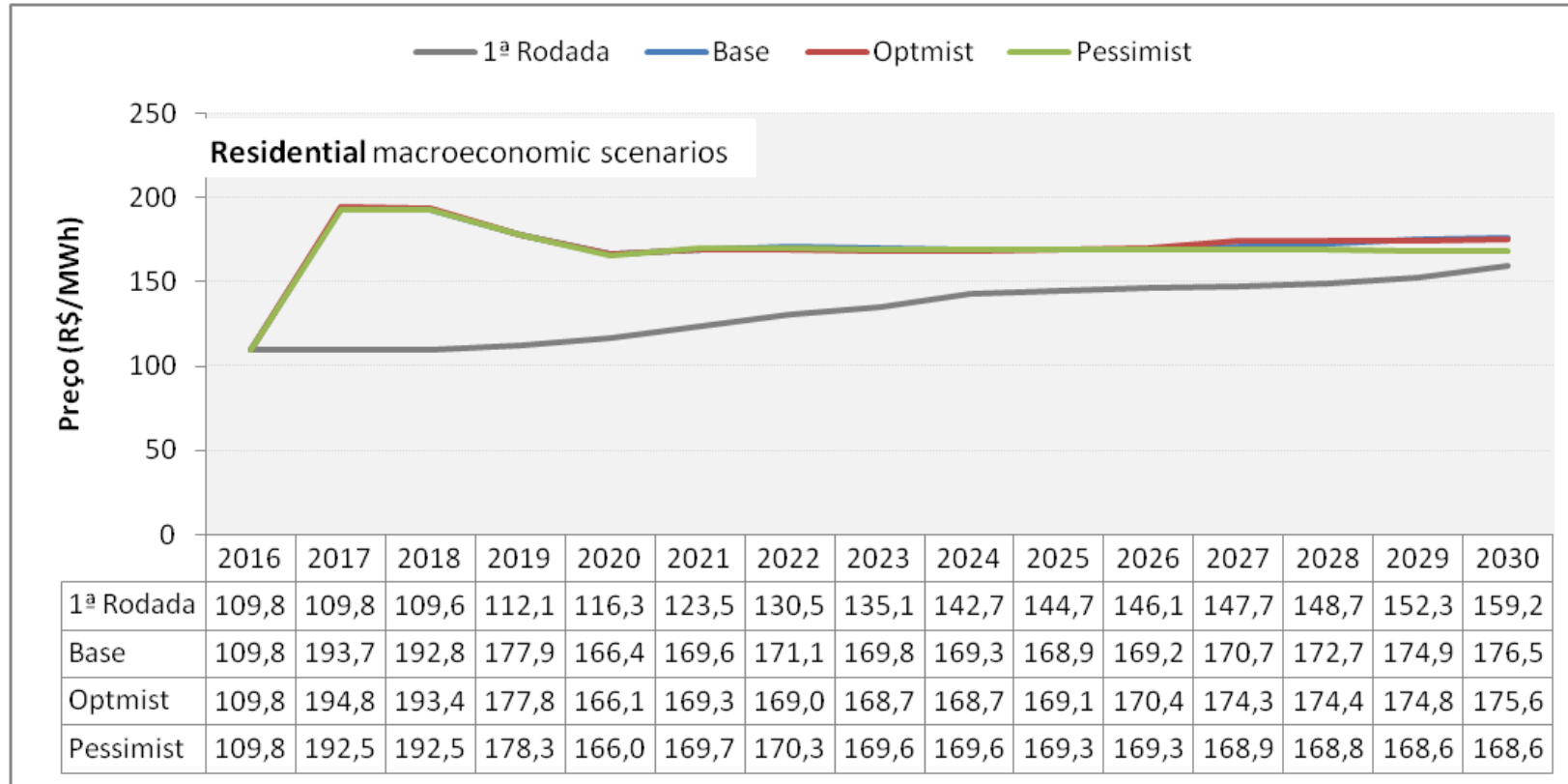
- Perfil médio da carga no verão em 2016 e 2020





PUC-Rio

Caso-teste da integração FORECAST-eLOAD-SDDP



- Na segunda rodada o modelo já convergiu!!



PUC-Rio

Próximos passos

- **PUC-Rio, Fraunhofer/TEP/IREES, Tendências:**
 - I. Fortalecimento da **integração FORECAST-eLOAD-SDDP**.
 - II. Consideração da **Tarifa Branca** no sistema desenvolvido no Projeto P&D ANEEL PD-7625-0003/2014.
 - III. Consideração do impacto da **Geração Distribuída, Armazenamento de Energia e Carros Elétricos** nos perfis de consumo dos consumidores e do Brasil.
 - IV. Desenvolvimento de **modelos de previsão específicos para os *drivers*** de energia de cada setor.



▪ PUC-Rio, Fraunhofer/TEP/IREES, Tendências:

- V. Avanços técnicos e maior integração das plataformas FORECAST e eLOAD.
- VI. Alimentação de cenários de projeções e indicadores macroeconômicos (modelo Top Down) – *Tendências*.
- VII. Desenvolvimento metodológico de um modelo híbrido para integração entre os modelos *top down* e *bottom up* (integração dos *drivers* entre modelos macroeconômicos e FORECAST-eLOAD – setor industrial).
- VIII. Atualização dos *drivers* do modelo residencial à luz da nova rodada de PPH (Pesquisa de Posses e Hábitos) prevista para 2017/2018.
- IX. Subsídio e direcionamento ao planejamento estratégico da empresa (*what-if analysis*).

Escopo da proposta de continuidade

Contribuição de cada parceiro



■ PUC-Rio e Fraunhofer/TEP/IREES

FORECAST

eLOAD

Análises

- Análise detalhada do impacto políticas energéticas específicas por uso final, visando estabelecer os efeitos destas em termos de conservação de energia e redução das emissões de CO₂.
- Análise detalhada das barreiras à adoção de medidas de eficiência energética nos diferentes setores.
- Análise da demanda por processos de resfriamento.
- Análises de sensibilidade do consumo de eletricidade de longo prazo.
- Impactos da eficiência energética no lado da oferta.

- Análise detalhada das curvas de carga de processos de resfriamento nos setores residencial e terciário.
- Avaliação das diferenças entre as curvas de carga do terciário por região e estação.
- Análise do efeito de medidas de eficiência energética relacionadas a ar condicionado e a processos de resfriamento na curva de carga do sistema.
- Análise e produção de perfis de geração fotovoltaica para as diferentes regiões do Brasil e análise do potencial econômico para os setores residencial e terciário.

Extensão do modelo

- Inclusão de outros *energy carriers* (i.e., carvão, gás natural etc.)

- Inclusão de módulo para considerar micro-geração descentralizada

Obrigado pela atenção!

Prof. Rodrigo Flora Calili

Programa de Pós-graduação em Metrologia

calili@puc-rio.br

Prof. Reinaldo Castro Souza

Departamento de Engenharia Industrial

reinaldo@puc-rio.br