

Modelagem de sistemas energéticos usando OSeMOSYS

Aula Prática 9

Use a seguinte citação para:

- **Este exercício**

Plazas-Niño, F., Richardson, E. (2025, fevereiro). Hands-on 9: Energy System Modelling Using OSeMOSYS (Versão 1.0.). Climate Compatible Growth (Crescimento compatível com o clima). DOI: 10.5281/zenodo.14871427

- **Software OSeMOSYS UI**

Climate Compatible Growth. (2024). MUIO (Versão v5.0.0). GitHub.
<https://github.com/OSeMOSYS/MUIO/releases>

Resultados da aprendizagem

Ao final deste exercício, você será capaz de representar o seguinte no OSeMOSYS:

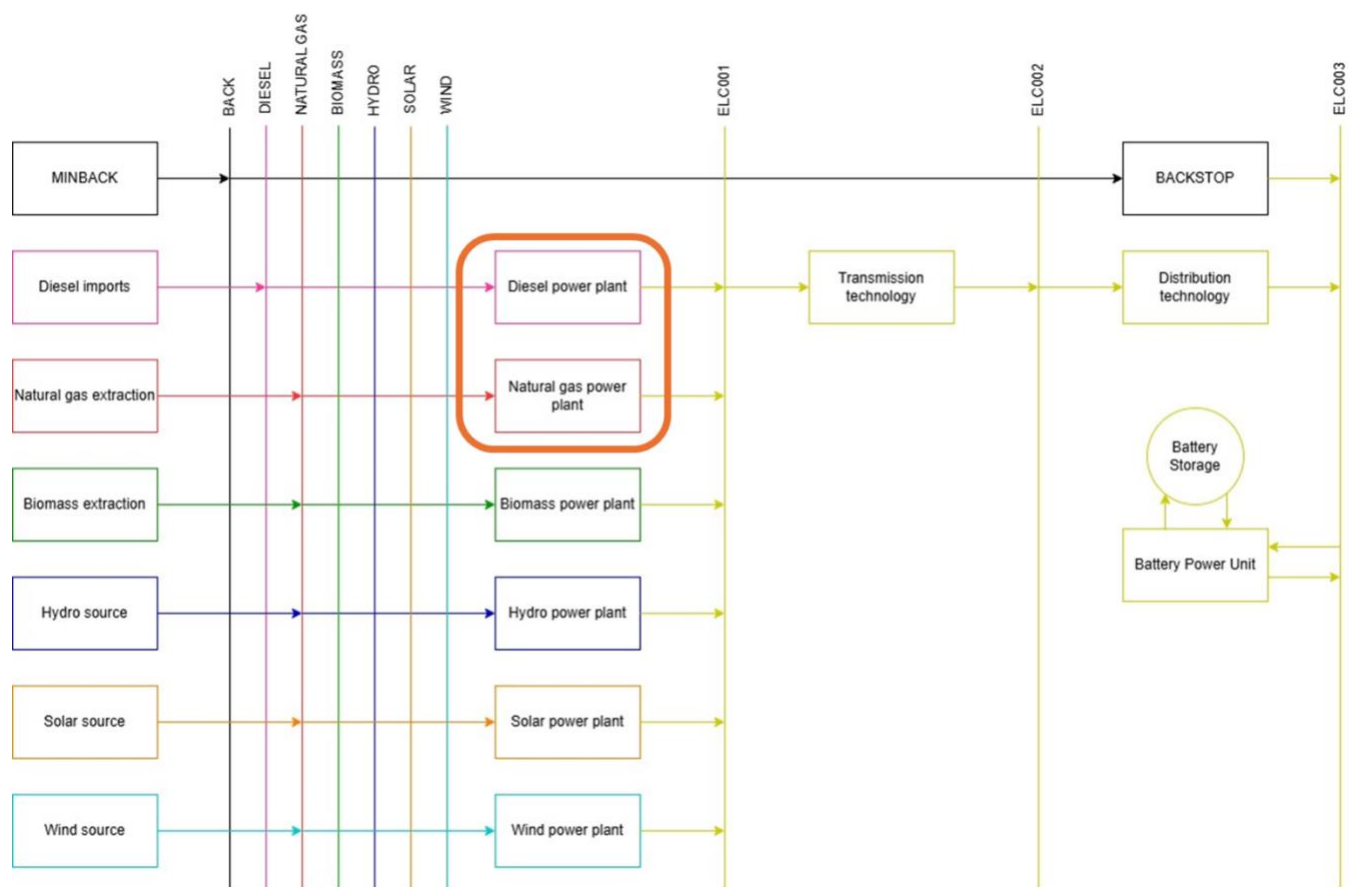
1) Emissões

2) Margem de reserva

Representação das emissões

Como aprendemos na Aula 10, consideramos as emissões no OSeMOSYS usando o parâmetro:

- **EmissionActivityRatio** [Mt/PJ]: define a taxa de emissão de cada tecnologia.



Neste exercício, incorporaremos as emissões de dióxido de carbono dependentes de tecnologia, associando os fluxos de emissão às tecnologias de usinas elétricas. Especificamente, trataremos das emissões das usinas a diesel e a gás natural. Para a usina

de energia a biomassa, que também produz emissões de dióxido de carbono por meio da combustão de biomassa, assumiremos a compensação de carbono, contabilizando o dióxido de carbono absorvido durante o cultivo e o crescimento dos recursos de biomassa.

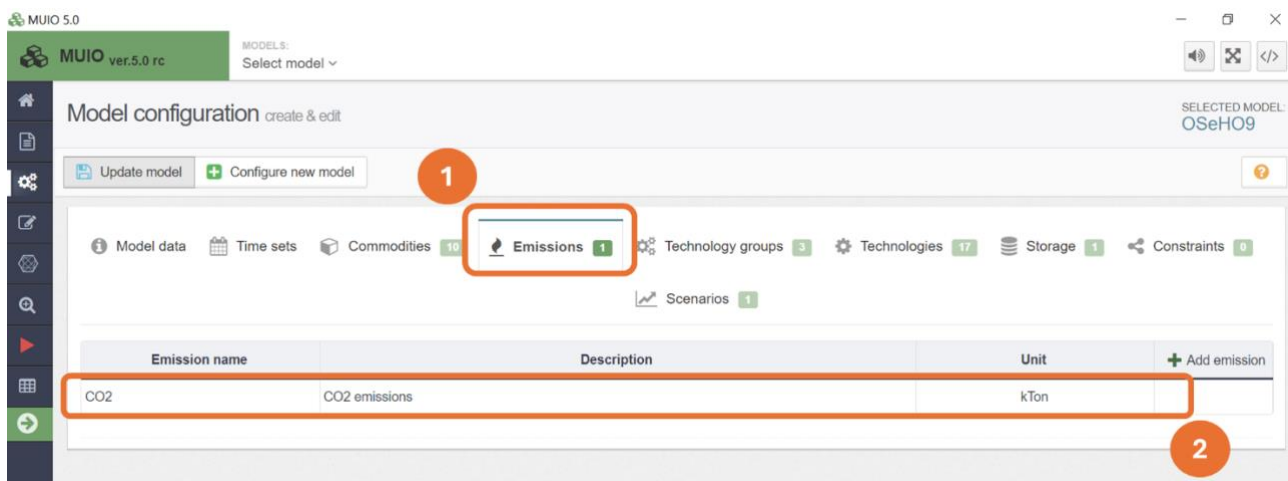
Começaremos calculando a taxa de atividade de emissão para as duas usinas de energia usando a Equação 1. Como as emissões são relativamente pequenas, trabalharemos em kt/PJ. Os valores da tabela abaixo, incluindo os fatores de emissão de combustível e as eficiências, são usados para esses cálculos.

$$\text{Emission Activity Ratio} \left[\frac{\text{kt}}{\text{PJ}} \right] = \frac{\text{Fuel Emission Factor} \left[\frac{\text{kt}}{\text{PJ}} \right]}{\text{Technology efficiency}} \quad (1)$$

Tecnologia	Fator de emissão de combustível [kt/PJ]	Eficiência	Taxa de atividade de emissão [kt/PJ]
Usina de energia a diesel	74,23 (diesel)	35%	74.23/0.35=212.09
Usina de energia a gás natural	55,54 (gás natural)	48%	55.54/0.48=115.71

EXPERIMENTE: Adicione **os índices de atividade de emissões** para as seguintes tecnologias de usinas de energia.

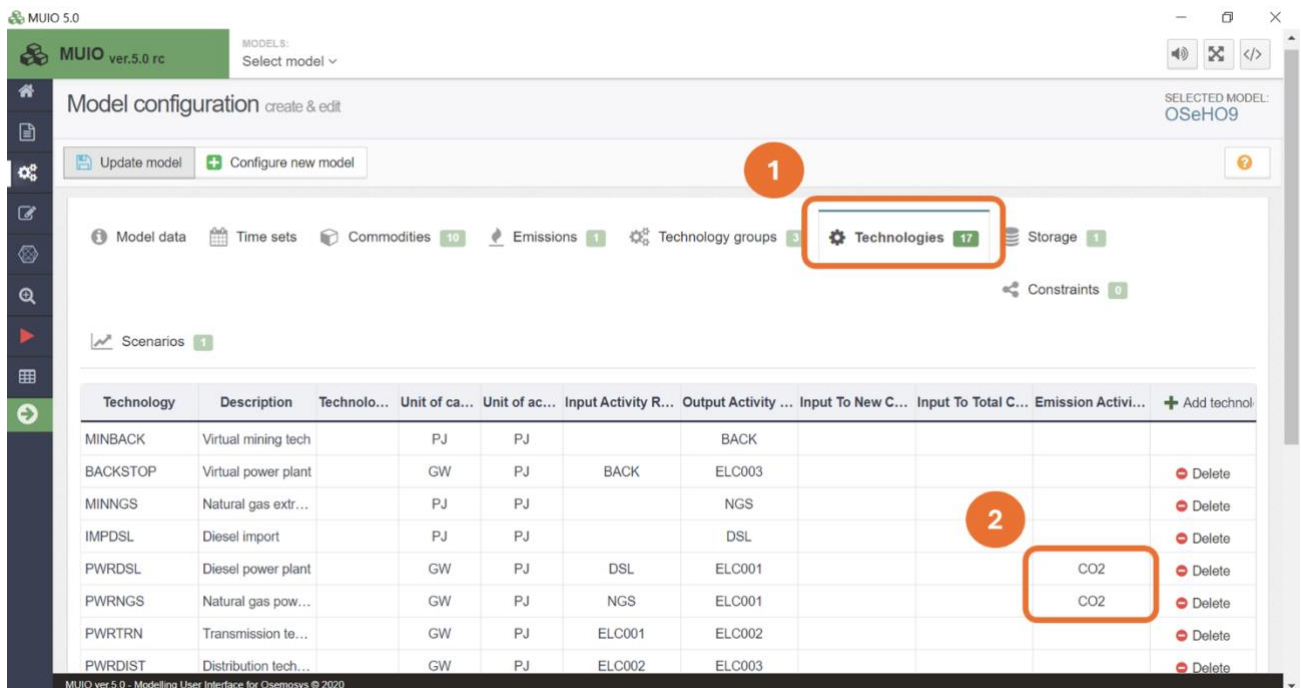
1. **NÃO adicionaremos novas tecnologias ou combustíveis neste exercício.**
Adicionaremos dados de emissões para as tecnologias existentes.
2. Na página de configuração do modelo, vá até a guia "Emissions" (Emissões) e altere as informações da emissão padrão para que correspondam à imagem abaixo:



3. Em seguida, ainda na página de configuração do modelo, vá para a guia "Technologies" (Tecnologias) e adicione dados à coluna **Emission Activity Ratio (Taxa de atividade de emissão)** para as seguintes tecnologias:

- a. PWRDSL
- b. PWRNGS

Observação: adicionaremos os fatores de emissão de CO₂ às tecnologias de produção em vez de às fontes primárias. Entretanto, também é comum contabilizar essas emissões por meio das fontes primárias, conforme discutido na Aula 10.



Model configuration create & edit

Update model | Configure new model

Model data | Time sets | Commodities 10 | Emissions 1 | Technology groups 5 | **Technologies 17** | Storage 1 | Constraints 0

Scenarios 1

Technology	Description	Technolo...	Unit of ca...	Unit of ac...	Input Activity R...	Output Activity ...	Input To New C...	Input To Total C...	Emission Activi...	+ Add technol
MINBACK	Virtual mining tech		PJ	PJ		BACK				
BACKSTOP	Virtual power plant		GW	PJ	BACK	ELC003				Delete
MINNGS	Natural gas extr...		PJ	PJ		NGS				Delete
IMPDSL	Diesel import		PJ	PJ		DSL				Delete
PWRDSL	Diesel power plant		GW	PJ	DSL	ELC001			CO2	Delete
PWRNGS	Natural gas pow...		GW	PJ	NGS	ELC001			CO2	Delete
PWRTRN	Transmission te...		GW	PJ	ELC001	ELC002				Delete
PWRDIST	Distribution tech...		GW	PJ	ELC002	ELC003				Delete

4. **Importante: atualize o modelo.**
5. Na **página de entrada de dados**, vá para "Emissions Activity Ratio" e, em seguida, adicione os dados de 2021 a 2035 para cada tecnologia listada acima somente no modo de operação 1. Você encontrará os dados no **arquivo "Data Preparation OSeHO9"**. Os valores são os mesmos calculados a partir da Equação 1.
6. Sua página deve se parecer com a imagem abaixo.



Emission Activity Ratio Region, year, technology, emission, mode of operation

Emission Activity Ratio | Save data | 0.0 | 0.000

Scenario	Technology	Emission	MoO	Unit	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
SC_0	PWRDSL	CO2	1	kTon/PJ	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	212.09	
SC_0	PWRDSL	CO2	2	kTon/PJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
SC_0	PWRNGS	CO2	1	kTon/PJ	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	115.71	
SC_0	PWRNGS	CO2	2	kTon/PJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Go to page: 1 | Show rows: 20 | 1-4 of 4

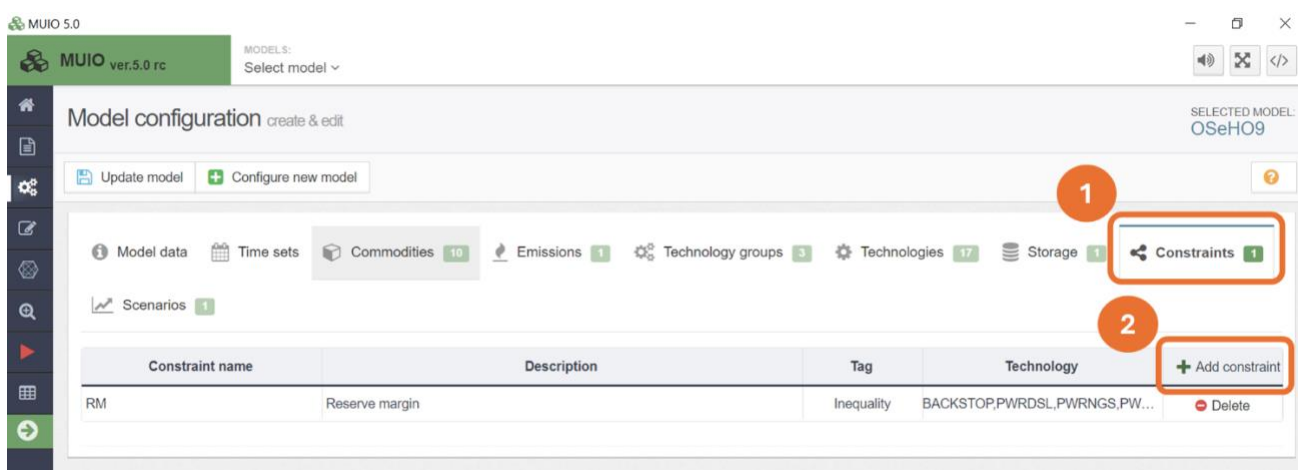
7. **SALVE E ATUALIZE!**

Margem de reserva

A primeira etapa para representar a margem de reserva é criar uma restrição definida pelo usuário (UDC).

EXPERIMENTE: Adicionar um UDC

- Na página de configuração do modelo, navegue até a guia "Constraints" (Restrições) e clique em "+ Add Constraint" (+ Adicionar restrição). Essa restrição será uma desigualdade, conforme explicado na Aula 10. Selecione as tecnologias relevantes para essa restrição, que incluem:
 - Tecnologias de energia na rede: BACKSTOP, PWRDSL, PWRNGS, PWRHYD, PWRBIO, PWR SOL, PWRWND e BATTPWR.
 - O sistema de transmissão: PWRTRN



- Atualize o modelo.**

Para representar um UDC, os seguintes **parâmetros** devem ser considerados:

- **UDC Constante:** Define o lado direito da equação ou desigualdade.
- **UDC Multiplicador de Capacidade Total:** Define o conjunto de multiplicadores para a **variável Capacidade total** no lado esquerdo da equação ou desigualdade.

- **UDC Multiplicador de Nova Capacidade:** Define o conjunto de multiplicadores para a **variável Nova capacidade** no lado esquerdo da equação ou desigualdade.
- **UDC Multiplicador de Atividade:** Define o conjunto de multiplicadores para a **variável Atividade** no lado esquerdo da equação ou desigualdade.

IMPORTANTE: normalmente, usamos um único conjunto de multiplicadores em cada restrição.

Para a margem de reserva, estamos avaliando a capacidade total do sistema para atender a essa margem. Portanto, aplicaremos o conjunto de multiplicadores UDC exclusivamente à capacidade total. Para os multiplicadores associados à nova capacidade e atividade, manteremos os valores padrão de zero.

$$Transmission\ Capacity * \left(\frac{1}{Transmission\ efficiency} \right) * (1 + Reserve\ Margin) - \sum_t (On - grid\ technology\ capacity * Capacity\ credit) < 0 \quad (2)$$

Conforme discutido na Aula 10, a margem de reserva é definida pela Equação 2. O multiplicador para a tecnologia de transmissão é calculado multiplicando-se o inverso da eficiência (equivalente ao índice de atividade de entrada) por um mais a margem de reserva.

Nesse caso, usamos uma margem de reserva de 15%. O cálculo é o seguinte:
 $1.05 \times (1 + 0.15) = 1.2075$.

Para as tecnologias de geração de energia, os multiplicadores corresponderão aos créditos de capacidade, conforme indicado na tabela abaixo. Esses multiplicadores serão adicionados como valores negativos devido ao sinal de menos na desigualdade.

Tecnologia	Crédito de capacidade
PARADA DE VOLTA	100%
PWRDSL	90%
PWRNGS	80%
PWRHYD	36%
PWRBIO	85%



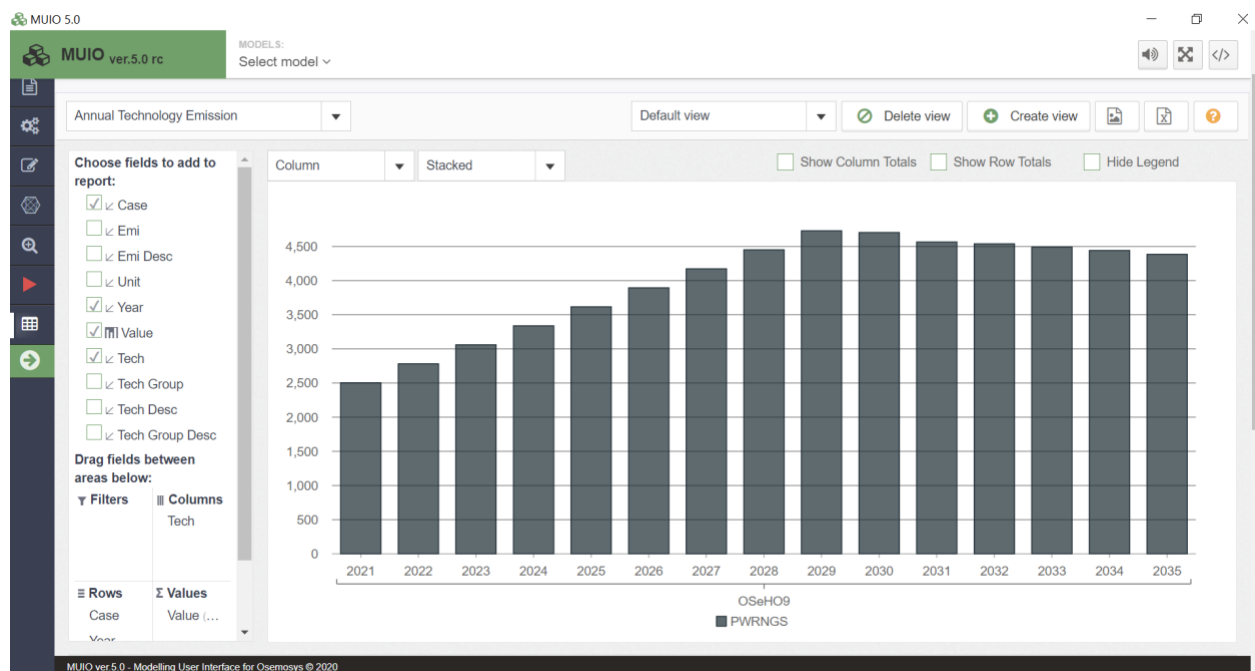
PWRSOL	9%
PWRWND	35%
BATTPWR	85%

EXPERIMENTE: Adicione multiplicadores UDC.

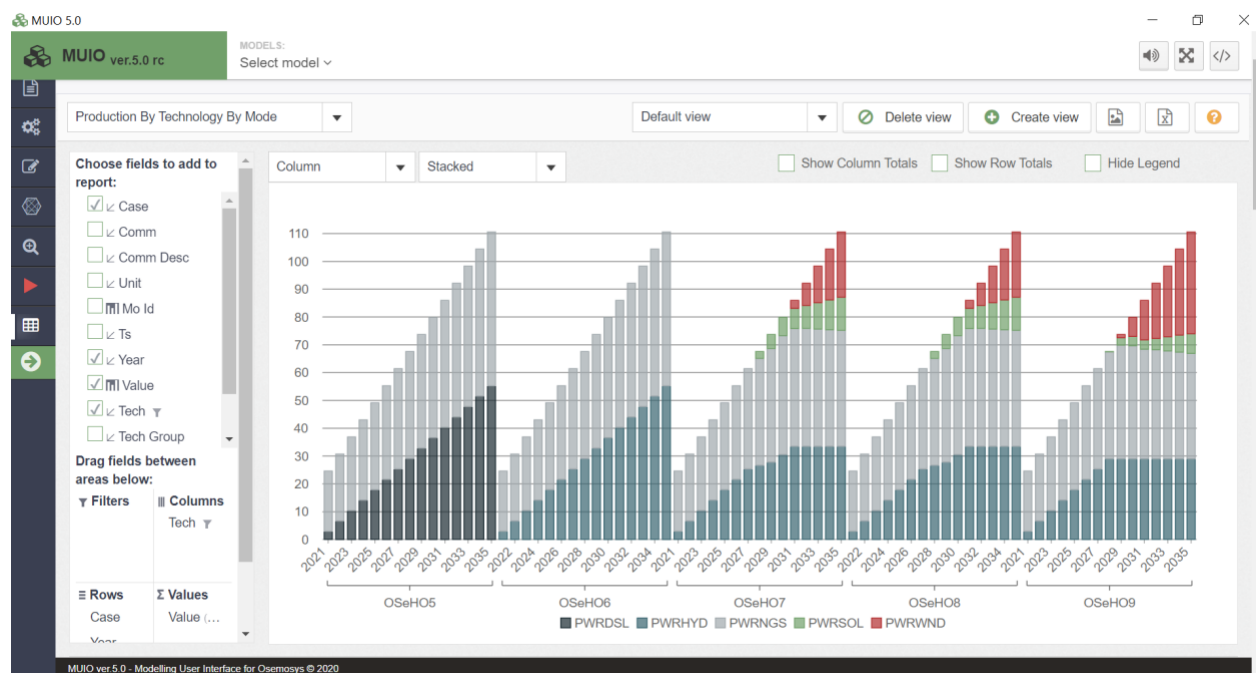
3. Adicione os dados por meio da guia de entrada de dados na lateral da página de configuração do modelo para o parâmetro UDC Multiplier Total Capacity. Adicione os dados conforme indicado no **arquivo "Data Preparation OSeHO9"**. Mantenha o parâmetro constante UDC como zero, que é o valor padrão.
4. **Salve e atualize o modelo.**

Executar e verificar

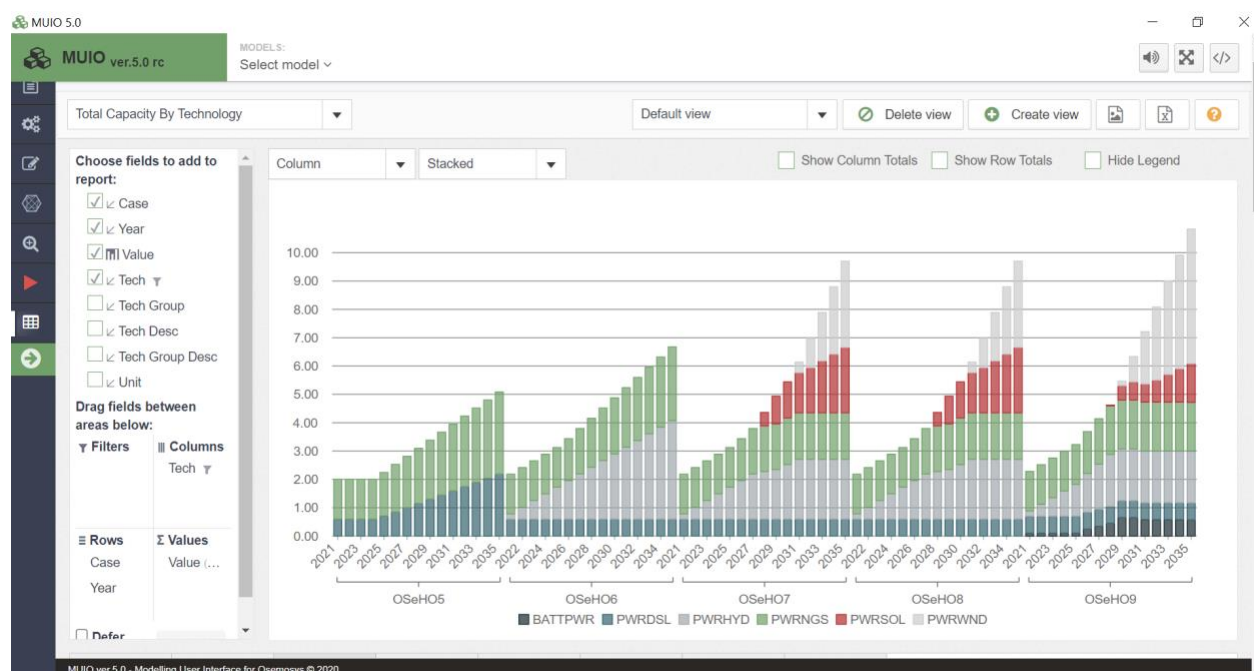
Execute o modelo na interface do usuário, conforme demonstrado nos exercícios anteriores. Em seguida, verificaremos o gráfico de uma nova variável, **Emissão anual de tecnologia (Annual Technology Emission)**. Esse gráfico exibe as emissões de CO₂ produzidas por cada tecnologia. Em nosso caso, a usina de gás natural é a única unidade de combustível fóssil que fornece eletricidade e, conseqüentemente, a única fonte de emissões.



O gráfico de produção abaixo mostra que a adição da margem de reserva alterou o mix de eletricidade. A penetração da energia eólica se acelerou, substituindo a contribuição da energia solar e hidrelétrica. Isso provavelmente se deve a uma combinação favorável de custos relativamente baixos e créditos de capacidade mais altos do que os da energia solar, permitindo que a energia eólica suporte melhor a margem de reserva.



O gráfico **Capacidade total por tecnologia (Total Capacity by Technology)** mostra que a adição de uma margem de reserva aumenta a capacidade excedente, em comparação com o cenário sem a margem de reserva. Notavelmente, o investimento no componente de energia dos sistemas de bateria começa no primeiro ano, apesar de as baterias não estarem sendo usadas, conforme mostrado no gráfico de produção. É importante observar que esse sistema viola uma das suposições iniciais com relação à tecnologia de transmissão, pois a capacidade residual de transmissão é superdimensionada nos primeiros anos. Vamos nos aprofundar em como calibrar esses resultados durante o Hands-On 13.



Questão a ser considerada: Se os créditos de capacidade para fontes variáveis de energia renovável (solar e eólica) fossem de 0%, como isso afetaria o mix de eletricidade?