



22 de Novembro de 2019

## Simulação das forças magnéticas no ondulador Delta

Luana Vilela

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, Campinas, Brazil

Este relatório apresenta os resultados de simulações magnéticas para as forças entre os cassetes do ondulador Delta. São apresentados os resultados para o modelo correspondente ao protótipo do Delta (Delta-20) e também para os onduladores com períodos de 22 mm (Delta-22) e 52.5 mm (Delta-52).

## 1. Sistema de coordenadas e padrão de nomenclatura

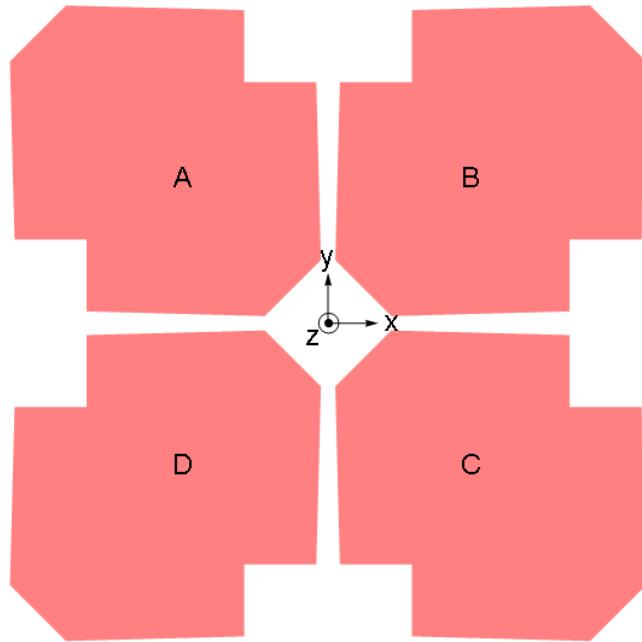


Figure 1: Sistema de coordenadas e padrão de nomenclatura adotados neste relatório.

### Movimentações:

- **Fase:** Movimentação dos cassetes A e C no sentido positivo do eixo z.
- **Contra-fase:** Movimentação do cassete A no sentido positivo de z e do cassete C no sentido negativo de z.
- **Ajuste da intensidade vertical do campo:** Movimentação dos cassetes A e B no sentido positivo do eixo z.
- **Ajuste da intensidade horizontal do campo:** Movimentação dos cassetes A e D no sentido positivo do eixo z.

## 2. Simulações magnéticas

As simulações magnéticas foram feitas utilizando os softwares MagNet e Radia. A discrepância máxima observada entre os valores obtidos para a força com os dois softwares foi de 3%. A força no cassete corresponde a somatória das forças em todos os blocos do conjunto. O arranque do bloco é a máxima magnitude da força encontrada em um bloco magnético.

### 3. Resultados para o Delta-20

Os resultados das simulações para o protótipo do ondulador Delta são apresentados abaixo. Nestas simulações foi utilizado o formato do bloco magnético mostrado na figura 2. O valor da magnetização remanente dos blocos do Delta-20 foi ajustado para o valor obtido nas medidas com a bobina de Helmholtz (1.31 T); para os outros onduladores foi considerado o valor nominal da magnetização (1.37 T). Os principais parâmetros da simulação são apresentados na tabela 1 e os resultados são mostrados na tabela 2.

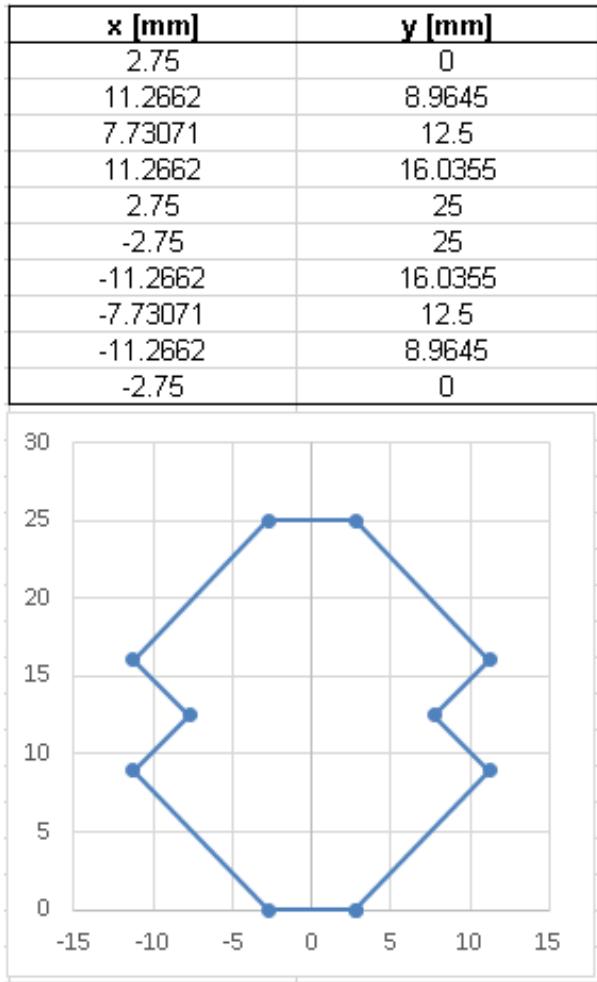


Figure 2: Formato dos blocos utilizados na simulação magnética do Delta-20

Table 1: Parâmetros utilizados nas simulações para o ondulador Delta-20

Parâmetro	Valor
Número de períodos por módulo	60
Período [mm]	20.0
Gap mínimo [mm]	6.5
Magnetização remanente [T]	1.31
Inclui blocos de terminação	Não

Table 2: Resultados das simulações para a força magnética do ondulador Delta-20

Movimentação	Amplitude máxima da força nos cassetes		
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
Fase	9.7	9.8	0.0
Contra-fase	9.7	9.8	16.6
Ajuste da intensidade vertical	9.7	9.8	9.3
Ajuste da intensidade horizontal	8.3	9.8	7.3
<b>Amplitude máxima da força nos blocos (arranque dos blocos)</b>			
140 N			

Os gráficos a seguir mostram a variação das forças nos cassetes durante as diferentes movimentações para ajuste da fase e amplitude do campo magnético:

### 3.1 Fase

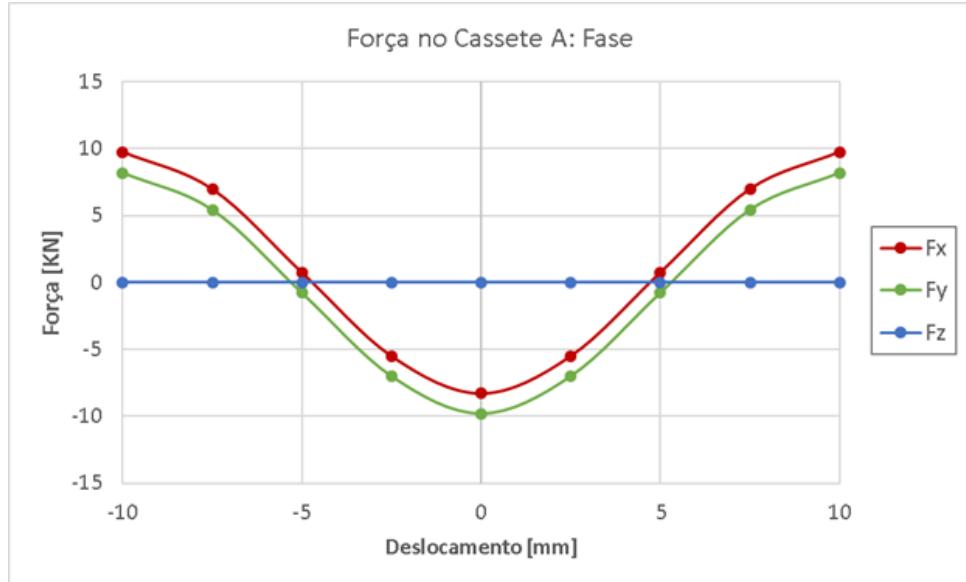


Figure 3: Força no cassete A no ajuste da fase do ondulador Delta-20. A força no cassete C tem amplitudes equivalentes e sinal oposto.

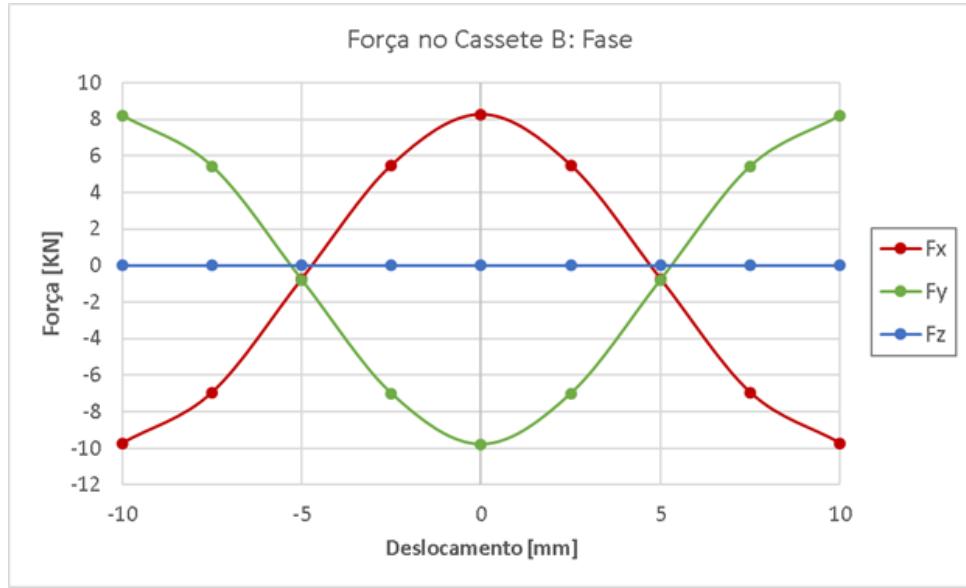


Figure 4: Força no cassete B no ajuste da fase do ondulador Delta-20. A força no cassete D tem amplitudes equivalentes e sinal oposto.

### 3.2 Contra-fase

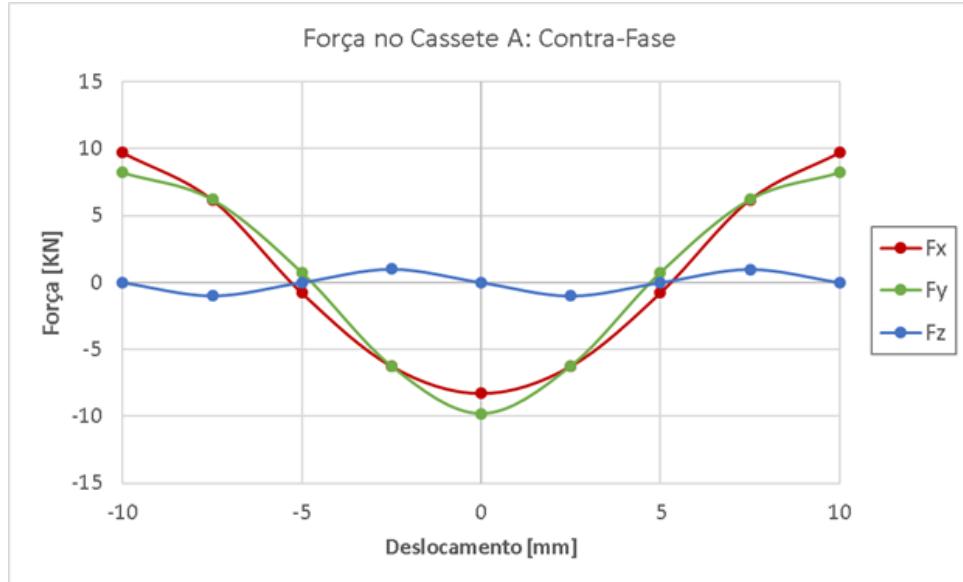


Figure 5: Força no cassete A na movimentação em contra-fase do ondulador Delta-20. A força no cassete C tem amplitudes equivalentes e sinal oposto.

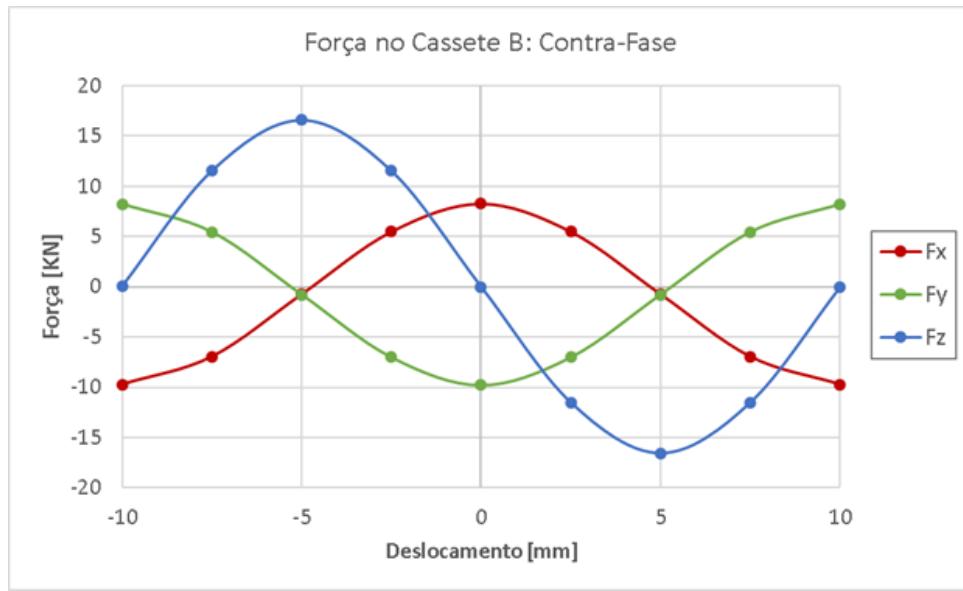


Figure 6: Força no cassete B na movimentação em contra-fase do ondulador Delta-20. A força no cassete D tem amplitudes equivalentes e sinal oposto.

### 3.3 Ajuste da Intensidade Vertical

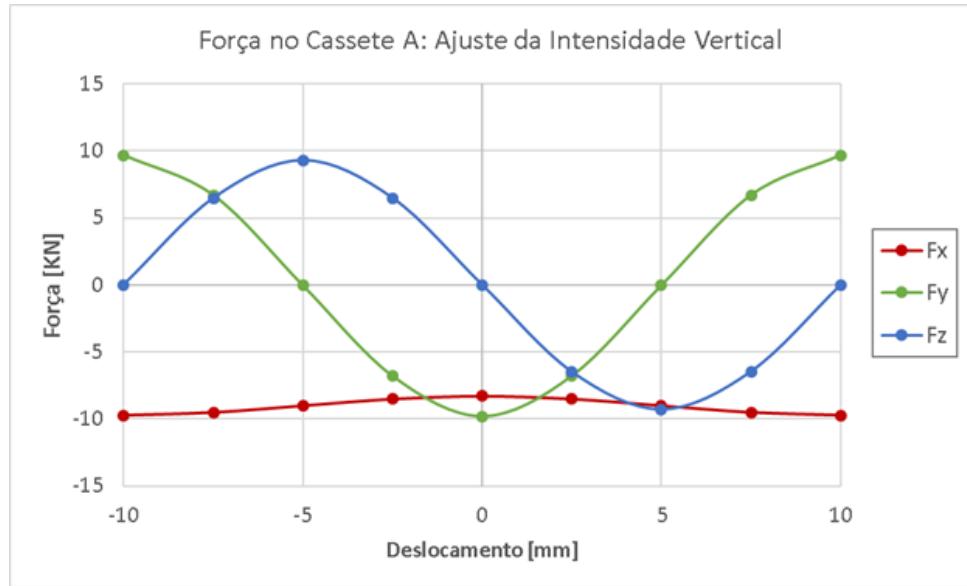


Figure 7: Força no cassete A na movimentação para ajuste da intensidade vertical do campo magnético para o ondulador Delta-20. As forças nos demais cassetes tem amplitudes iguais com variações no sinal.

### 3.4 Ajuste da Intensidade Horizontal

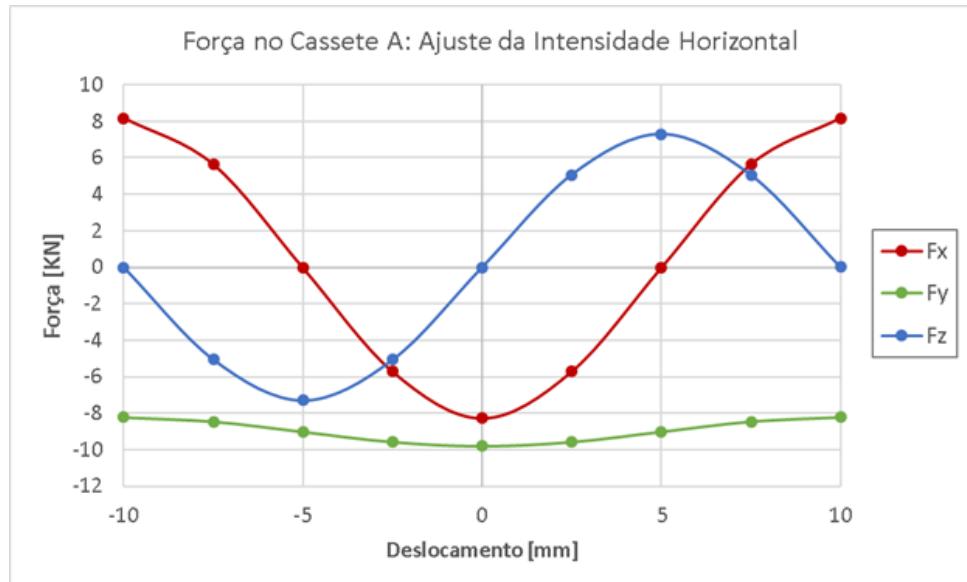


Figure 8: Força no cassete A na movimentação para ajuste da intensidade horizontal do campo magnético para o ondulador Delta-20. As forças nos demais cassetes tem amplitudes iguais com variações no sinal.

## 4. Resultados para o Delta-22

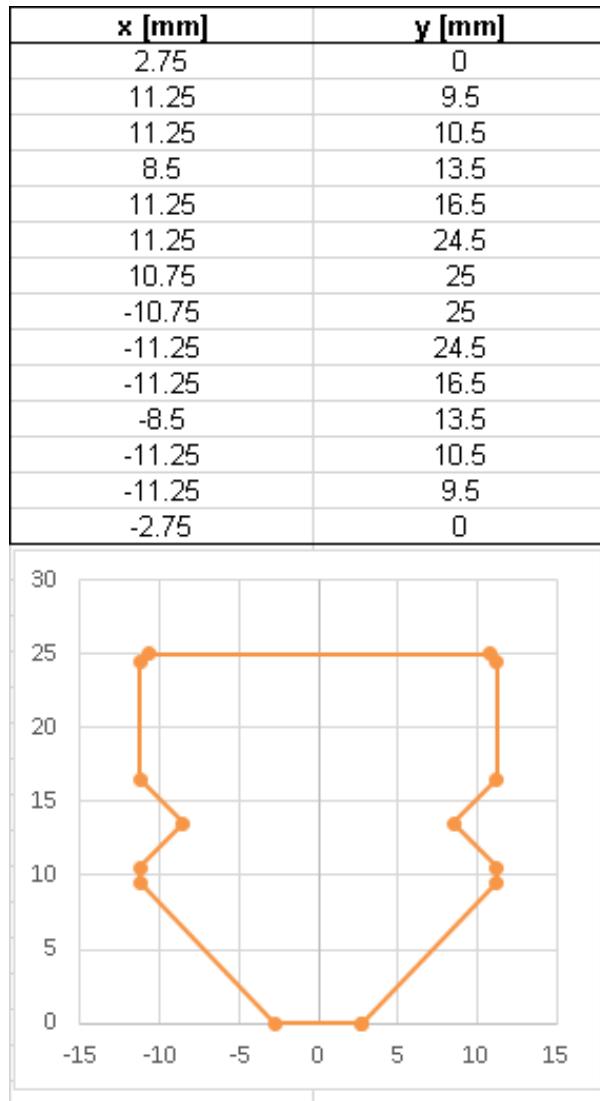


Figure 9: Formato dos blocos utilizados na simulação magnética do Delta-22.

Table 3: Parâmetros utilizados nas simulações para o ondulador Delta-22.

Parâmetro	Valor
Número de períodos por módulo	53
Período [mm]	22
Gap mínimo [mm]	7.0
Magnetização remanente [T]	1.37
Inclui blocos de terminação	Sim

Table 4: Resultados das simulações para a força magnética do ondulador Delta-22

<b>Movimentação</b>	<b>Amplitude máxima da força nos cassetes</b>		
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
Fase	9.5	9.6	0.0
Contra-fase	9.5	9.6	16.2
Ajuste da intensidade vertical	9.5	9.6	9.2
Ajuste da intensidade horizontal	7.9	9.6	7.0
<b>Amplitude máxima da força nos blocos (arranque dos blocos)</b>			
170 N			

## 5. Resultados para o Delta-52

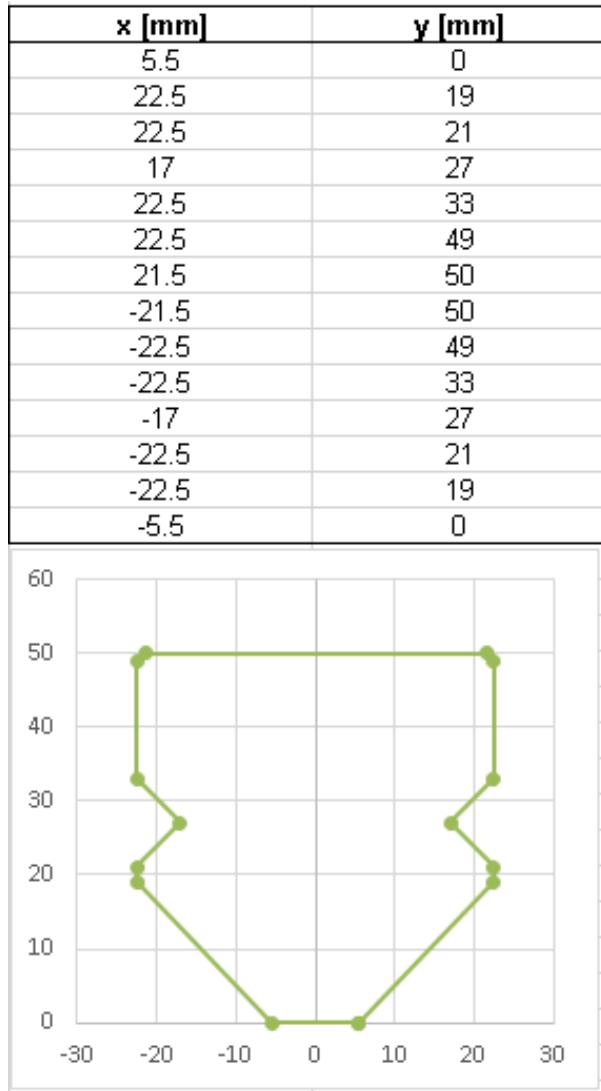


Figure 10: Formato dos blocos utilizados na simulação magnética do Delta-52.

Table 5: Parâmetros utilizados nas simulações para o ondulador Delta-52.

Parâmetro	Valor
Número de períodos por módulo	21
Período [mm]	52.5
Gap mínimo [mm]	14.0
Magnetização remanente [T]	1.37
Inclui blocos de terminação	Sim

Table 6: Resultados das simulações para a força magnética do ondulador Delta-52

<b>Movimentação</b>	<b>Amplitude máxima da força nos cassetes</b>		
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
Fase	20.2	20.4	0.0
Contra-fase	20.2	20.4	33.0
Ajuste da intensidade vertical	20.2	20.4	19.5
Ajuste da intensidade horizontal	15.8	20.4	13.5
<b>Amplitude máxima da força nos blocos (arranque dos blocos)</b>			
820 N			

## 6. Resumo dos Resultados

A tabela 7 apresenta o resumo dos resultados das simulações, com os valores máximos (arredondados para cima) das forças nos cassetes e nos blocos dos três onduladores analisados.

Table 7: Resultados das simulações para a força magnética no ondulador Delta

<b>Ondulador</b>	<b>Força nos cassetes [kN]</b>		<b>Arranque do bloco [N]</b>
	<b>Transversal</b>	<b>Longitudinal</b>	
Delta-20	10	17	150
Delta-22	10	17	200
Delta-52	21	33	850