

## APLICAÇÃO DE TAXAS RELACIONADAS NO DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO DE SILOS AGRÍCOLAS

Franciele Jesus de Paula<sup>1</sup> [franciele\\_paula@outlook.com](mailto:franciele_paula@outlook.com);  
Matheus Silveira Borges<sup>2</sup> [matheus.borges@ifnmg.edu.br](mailto:matheus.borges@ifnmg.edu.br).

<sup>1</sup> Discente. Engenharia Agrícola e Ambiental. IFNMG - Campus Januária;

<sup>2</sup> Docente. Engenharia Civil. IFNMG - Campus Januária

### Resumo

Os silos são estruturas utilizadas para armazenagem de produtos agrícolas, sendo de grande importância no processo logístico existente na cadeia de produção do agronegócio. Entretanto, por serem reservatórios de grandes dimensões e possuírem um considerável custo de fabricação, os silos devem ser dimensionados de forma otimizada, armazenando a maior quantidade de grãos com o menor custo de fabricação possível. Neste contexto, a matemática contribui com o projeto de silos agrícolas por meio do cálculo de taxas relacionadas, em que é possível propor a menor relação entre as variáveis inerentes ao dimensionamento e otimizar o custo de sua fabricação. Este trabalho, portanto, tem como objetivo dimensionar geometricamente um silo agrícola para obter o máximo de volume com a mínima área superficial, ou seja, o menor custo de fabricação. Assim, será possível obter dimensões otimizadas para projetos de silos agrícolas.

**Palavras-chave:** taxas relacionadas; dimensionamento; armazenamento; grãos.

### Introdução

Diversos segmentos da sociedade são dependentes dos produtos produzidos pela agricultura. Assim, grandes projetos são desenvolvidos para otimizar a logística existente no processo de produção, armazenagem e escoamento dos produtos gerados, diminuindo custos e aumentando os índices de qualidade e lucro para os produtores.

Neste contexto, tem-se como grande desafio o armazenamento de grãos em silos, já que essas são estruturas com alto custo de fabricação. Assim, é de considerável importância o desenvolvimento de técnicas baseadas em conceitos matemáticos que proporcionem a otimização no dimensionamento de silos.

Este trabalho teve como objetivo, portanto, propor o dimensionamento otimizado de silos agrícolas. Não obstante, este estudo também comparou o projeto proposto com um modelo de reservatório comercial atualmente disponível no mercado de silos.

## Metodologia

Supondo que um determinado silo cilíndrico irá armazenar um determinado volume, as variáveis dimensionais de volume, área superficial e raio deste reservatório estão relacionadas entre si, como ilustra a Fig. 1. Considerando as taxas de variação em que duas ou mais variáveis são associadas pode-se encontrar uma proporção mínima através de derivação gerando uma geometria otimizada, cálculo este chamado de taxas relacionadas (SAMPAIO, 2018).

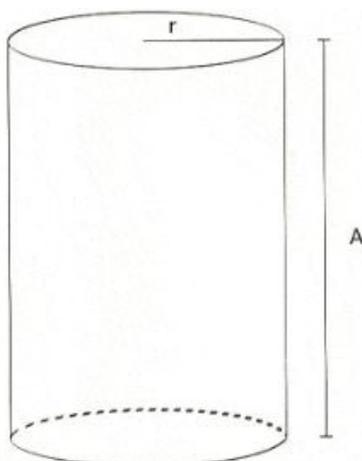


Figura 1. Esquema simplificado do silo cilíndrico. Fonte: (Milk Point, 2006)

Assim, nesta pesquisa, foi utilizada a estratégia de otimização baseada em taxas relacionadas, onde se buscou as dimensões ótimas para um silo agrícola em formato cilíndrico.

Para o desenvolvimento deste dimensionamento, buscou-se inicialmente um projeto de um reservatório comercial em um catálogo de fabricante de silos agrícolas. Assim, foi possível obter informações quanto às dimensões (altura e diâmetro), capacidade volumétrica, propriedades dos materiais, número de anéis e modelo. O reservatório escolhido é da marca Kepler Weber, sendo um silo metálico de fundo plano com especificação na Fig. 2.

**TABELAS DE ESPECIFICAÇÃO - Silo Plano Arroz - Telhado 30°**

MODELO	ANELS	DIÂMETRO NOMINAL (m)	VOLUME (m³)	CAPACIDADE (kg/ARROZ)	SACOS ARROZ	SACOS ARROZ*	TORILHADAS ARROZ	TORILHADAS ARROZ*	ALTURA TOTAL (m)
	12		2,123	88,208	24,274	26,113	1,222	1,306	15,25
	13		2,305	92,571	26,462	28,247	1,325	1,408	16,26
	14		2,527	99,280	29,224	30,961	1,414	1,498	17,28
	15		2,796	11,232	33,128	35,832	1,522	1,598	18,29
	16		3,111	12,341	37,141	39,888	1,641	1,718	19,30
40	17	14,52	2,815	79,232	23,723	25,794	1,282	1,368	20,31
	18		3,282	13,358	41,314	43,718	1,771	1,868	21,32
	19		3,611	14,469	44,425	46,865	1,871	1,968	22,33
	20		3,992	15,572	47,536	50,000	1,972	2,068	23,34

Figura 2. Catálogo Kepler Weber (adaptado). Fonte: (KEPLER WEBER, 2018)

Posteriormente foi dimensionado um reservatório com a mesma capacidade de armazenamento, no entanto com a geometria otimizada por meio de taxas relacionadas. As grandezas envolvidas na otimização é o volume e o raio do silo, sendo o volume a variável dependente, já que o reservatório foi dimensionado para a mesma capacidade volumétrica. Foi determinada a taxa de variação do raio para o volume de  $2813 \text{ m}^3$ , sendo feita uma derivação e posterior substituição dos valores para descobrir o valor mínimo do raio e altura.

Para cada silo, foi calculada a área de chapa metálica necessária para sua construção. Com a quantidade de material de cada projeto, foi possível obter o custo final, possibilitando a comparação dos mesmos.

### Resultados e discussão

Por meio da técnica de taxas relacionadas foi possível obter um silo de fundo plano para armazenamento de arroz geometricamente otimizado. Na tabela 1 é possível comparar as dimensões:

Tabela 1. Especificações dos Silos. Fonte: O Autor

Especificações dos Silos		
	Silo comercial	Silo otimizado
Volume ( $\text{m}^3$ )	2813	2813
Altura (m)	19,82	9,65
Diâmetro (m)	14,55	19,26
Número de Anéis	17	9
Área corpo ( $\text{m}^2$ )	1072,24	875,23
Área telhado ( $\text{m}^2$ )	358,25	413,92
Área Total ( $\text{m}^2$ )	1430,49	1289,15

De acordo com a tabela a altura diminuiu  $10,17 \text{ m}$  e o diâmetro aumentou  $4,71 \text{ m}$  em relação ao reservatório comercial adotado. Ou seja, o projeto por taxas relacionadas encontrou outras dimensões para o silos, sem que a capacidade de armazenagem dos grãos se alterasse. Pode-se também observar que a área do telhado do silo otimizado é maior do que o silo comercial, porém a soma das áreas de chapas metálicas utilizadas é menor para o silo otimizado. Consequentemente, a área total de chapas metálicas empregadas na fabricação do reservatório diminuiu cerca de  $10\%$ , valor este de grande significância econômica, já que a aquisição desses materiais de grande resistência é de alto custo.

Não obstante, esses resultados implicam uma série de outras contribuições. Dentre elas, tem-se que o projeto do silo otimizado proposto tem um maior diâmetro de base. Esse fator irá favorecer a questão da implementação deste silo sobre o solo, visto que com uma maior área de contato, a tensão exercida pelo peso do silo diminuirá, otimizando o custo do projeto de fundações para o silo. Considerando ainda que os silos contam com estruturas como escadas, plataformas e portas esses equipamentos terão menor custo já que serão projetados em dimensões menores.

Entretanto, um silo com maior diâmetro irá impactar na questão do transporte da fábrica até o local de utilização. Além disso, o silo otimizado necessita de um telhado com dimensões maiores, a desvantagem nesta situação é o fato do telhado possuir comumente uma configuração estrutural diferenciada que em termos de custo se torna mais cara que o corpo do silo. É necessário, portanto, uma avaliação por parte dos engenheiros responsáveis pelo projeto da melhor solução para cada cliente.

### **Conclusão**

Com a técnica de taxas relacionadas, foi possível obter o projeto de um silo otimizado que apresentou um custo de fabricação menor que o reservatório comercial com a mesma capacidade volumétrica. Além disso, esse projeto terá um menor custo para as fundações, pois as dimensões do silo otimizado permitem uma aplicação de menores tensões no solo, quando comparado ao silo comercial.

É esperado, em futuros estágios desta pesquisa, a análise dos reservatórios otimizados pela ótica estrutural, com o objetivo de determinar a melhor relação entre geometria e resistência dos materiais para um projeto de um silo agrícola.

### **Agradecimentos**

Ao IFNMG - Campus Januária pelo apoio a pesquisa.

### **Referências**

SAMPAIO, J.C. **Derivação implícita e taxas relacionadas**. UFSCAR, cap. 14, 2018.  
Disponível em: < [http://www.im.ufrj.br/~waldecir/calculo1/calculo1pdf/capitulo\\_14.pdf](http://www.im.ufrj.br/~waldecir/calculo1/calculo1pdf/capitulo_14.pdf)>.  
Acesso em 15 de Set. 2018.

KEPLER WEBER. **Catálogo geral de produtos – Armazenagem de grãos**. Disponível em: < <http://www.kepler.com.br/>>. Acesso em 15 de Set de 2018.