

ANALYSIS OF A GRAIN STORAGE PORTUARY
SYSTEM IN A SPECIALIZED TERMINAL

Leopoldo R. Oliveira

ABSTRACT

This paper presents a comparative study of portuary grain elevator in specialised terminals.

The random character of the ship arrivals and corresponding cargo capacities is considered, facing different grain feeding rate assumptions into the elevators.

Particularly, the results obtained from a real problem simulation in a digital computer are compared, according to two basic situations:

- The grain feeding rate into the elevator being controlled, the control depending upon the grain demand, and
- The grain feeding rate into the elevator being uncontrolled, i.e., the system is free. The grain level at the elevator and the ship arrivals exert no influence on that rate.

It is also presented a comparison of the results obtained utilising the computer simulation and those obtained utilising a mathematical model for the determination of grain elevator capacity. This mathematical model is presented in Novaes (1).

SUMÁRIO

	pag.
INTRODUÇÃO -----	1
1. MODELO PARA DIMENSIONAMENTO DE UM SILO-ARMAZENA GEM INTERMODAL -----	3
2. ESTUDO DA SAÍDA DE CARGA DE UM SILO PORTUÁRIO -	7
3. CHEGADA DE CARGA AO SILO PORTUÁRIO -----	15
4. DIMENSIONAMENTO DO SILO -----	18
5. CONCLUSÕES -----	29
6. BIBLIOGRAFIA -----	31

INTRODUÇÃO

O crescente aumento nas exportações por parte dos países em desenvolvimento e a tendência de utilização de navios de grande capacidade nos últimos anos para comércio por via marítima vêm solicitando total reformulação dos sistemas portuários existentes.

No setor de grãos sólidos, por exemplo, ao contrário do que acontece com os grandes exportadores tradicionais deste tipo de carga, pois desde há muito já tem implantada uma estrutura completa para armazenagem de grãos tanto nas áreas de produção quanto nos canais de escoamento, os países em desenvolvimento só agora é que se lançaram nesse campo. Evidentemente existem grandes desvantagens como falta de tecnologia, falta de experiência, falta de recursos e conseqüentemente sem nenhuma estrutura básica do sistema de armazenagem para consumo e/ou exportação já formada.

Para entrar com algumas armas no Mercado Internacional são necessárias então medidas estratégicas imediatas no setor. Tais medidas seriam no sentido saltar todo um período de preparação e amadurecimento, para uma situação já de competição. O porto como porta de escoamento do produto comercializado surge como um dos pontos mais importantes em tal situação, pois como se sabe, é a maioria das vezes um ponto de estrangulamento da saída de mercadorias levando o produto comercializado a preços muito e

levados devido aos altos custos envolvidos nesta transferên
cia de carga.

Este trabalho apresenta um estudo comparativo de dimensionamento de silos portuários em terminais especia
lizados em grãos, levando-se em conta a aleatoriedade das chegadas de navios e respectivas capacidades de carga ofere
cidas diante de diferentes hipóteses para as taxas de ali -
mentação de grãos nos silos. Em especial são comparados os resultados obtidos em simulação do problema real em computa
dor segundo duas hipóteses básicas - "taxa de alimentação do silo com possibilidade de ser controlada conforme a deman
da de grãos e taxa de alimentação sem controle algum onde o sistema funciona livremente não sendo levado em conta o ní
vel do silo ou as chegadas dos navios". Um modelo matemático apresentado por Novaes (1) é utilizado para o dimensionamento do silo e depois são comparados os resultados com aque
les obtidos na simulação.

1. MODELO PARA DIMENSIONAMENTO DE UM SILO

ARMAZENAGEM INTERMODAL

A armazenagem intermodal se caracteriza por chegadas de carga por vagões e caminhões quase que continuamente e em pequenas toneladas enquanto que a saída se dá por navios, de tempos em tempos, aleatoriamente, com grandes capacidades de carga comparadas com vagões e caminhões. Para este estudo será analisado o caso de exportação de grãos-milho - por um terminal especializado - SANTOS - e nesse caso as hipóteses acima podem ser bastante evidenciadas aqui.

O modelo apresentado por NOVAES (1) supõe um sistema de armazenagem intermodal em que as saídas de carga ocorram a intervalos constantes iguais a τ . O estado do processo é representado pelo estoque $R(n)$ existente no sistema imediatamente antes da $n^{\text{ésima}}$ partida. Tais instantes representam os estágios do processo.

A quantidade de carga que entrou no sistema entre o estágio $(n-1)$ e o (n) é representado por $X(n)$. A quantidade de carga que sai imediatamente após o estágio (n) é denominada $Y(n)$. A representação das variáveis e dos estágios está indicada na figura 1.1.

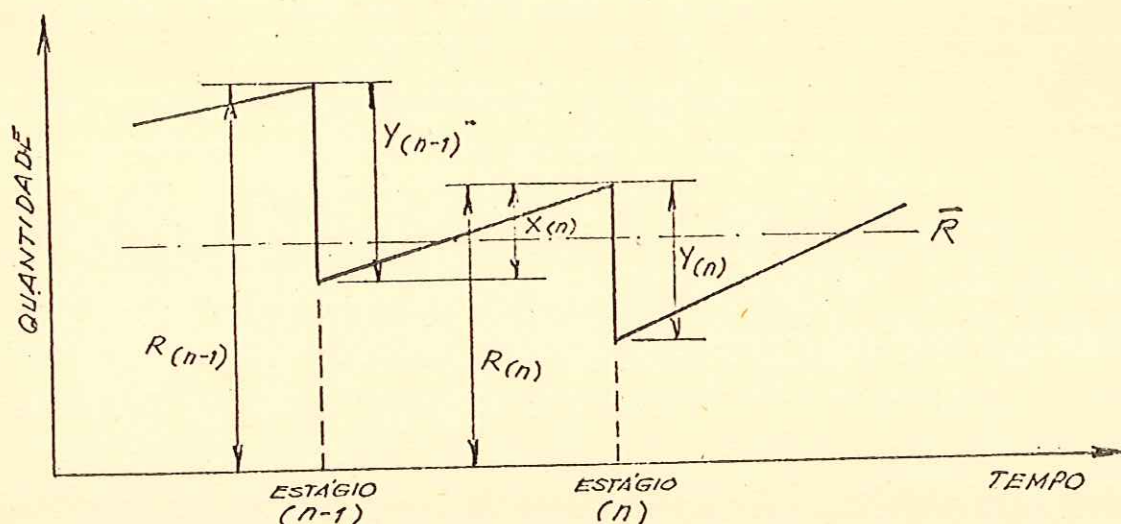


FIG. 1.1 - ESQUEMA DO MODELO DE ARMAZENAGEM INTERMODAL

A equação geral desse processo estocástico é a seguinte:

$$R(n) = R(n-1) + X(n) - Y(n-1) \quad (1.1)$$

Num primeiro caso será estudada a situação na qual admite-se a existência de um certo controle sobre a taxa de entrada $X(n)$. Como regra de decisão para adaptar o fluxo de entrada $X(n)$ às condições de estoque num certo estágio adotaremos a relação:

$$X(n) = -\alpha \cdot [R(n-1) - \bar{R}] \quad (1.2)$$

ou seja, o fluxo de entrada será diminuído de uma quantidade proporcional ao excesso de estoque observado no estágio anterior em relação a um certo valor $\bar{R}$; ou vice-versa, o fluxo será aumentado de uma quantidade proporcional ao déficit de estoque constatado no estágio anterior. Assim se admitirmos um fluxo de entrada médio $E[X]$ e um estoque médio

$E[R] = \bar{R}$ então a taxa de carregamento do silo num determinado estágio (n) será:

$$X(n) = E[X] + \int X(n) \quad (1.3)$$

Desta forma as expressões gerais das variações do estoque e das taxas de alimentação são dadas por:

$$R(n) = -(1-\alpha)^{n-1} Y(0) - (1-\alpha)^{n-2} Y(1) - \dots - Y(n-1) \quad (1.4)$$

$$X(n) = \alpha(1-\alpha)^{n-2} Y(0) + \alpha(1-\alpha)^{n-3} Y(1) + \dots + \alpha Y(n-2) \quad (1.5)$$

Pode-se então dimensionar o silo admitindo-se uma distribuição normal para o nível de estoque. Para um nível de estoque de 95%, tem-se:

$$R_{MAX} = E[R] + 1,96 \cdot \sigma[R] \quad (1.6)$$

$$R_{MIN} = E[R] - 1,96 \cdot \sigma[R] \quad (1.7)$$

onde $\sigma[R]$ é o desvio padrão de R e é dado por:

$$\sigma[R] = \frac{\sigma[Y]}{\sqrt{1-(1-\alpha)^2}} \quad (1.8)$$

Para o caso de armazenagem sem controle pode-se utilizar ainda a figura - 1.1. Simplesmente agora o fluxo de entrada $X[n]$ não é mais controlado e a equação geral do processo pode ser dada por:

$$R(n) = R(0) + \sum_{j=1}^n X(j) - \sum_{j=0}^{n-1} Y(j) \quad (1.9)$$

Neste caso para garantir-se o equilíbrio estático do processo admite-se $E[X] = E[Y]$, isto é, os valores médios das taxas de entrada e de saída de grãos no silo são iguais. Utilizando-se $R(R)$ para representar a quantidade reserva do silo temos:

$$R(0) = R(R) + 1,96 \cdot \sigma[R] \quad (1.10)$$

$$R_{MAX} = R(R) + 3,92 \cdot \sigma[R] \quad (1.11)$$

$$\sigma[R] = \sqrt{n \cdot (\sigma^2(X) + \sigma^2(Y))} \quad (1.12)$$

2. ESTUDO DA SAÍDA DE CARGA DE UM SILO PORTUÁRIO

Para o estudo em questão foram utilizados dados fornecidos pelo Grupo Executivo de Movimentação de Safras do Estado de São Paulo (GREMOS) relativos ao ano de 1971 para a exportação de milho através do porto de Santos:

Uma primeira aproximação foi feita para as capacidades de carga oferecidas pelos navios para transporte de milho durante 1971. Considerando-se tais capacidades como variáveis aleatórias independentes com limitações máximas e mínimas, uma distribuição Beta pode ser pesquisada para representar a distribuição de tais capacidades. Em segundo lugar foi pesquisada a distribuição de probabilidades que melhor representasse a distribuição das chegadas de navios ao longo do tempo. Tal distribuição foi a de Poisson, como poderemos ver nos parágrafos seguintes.

2.1. Capacidade de Carga Oferecida por Navio - Δ -

Por razões econômicas será definida uma capacidade mínima - Δ MIN - por navio, abaixo da qual não compensa o transporte por via marítima. Por outra por razões de profundidade do Porto de Santos - variando em torno de 12 metros - haverá um limite para os calados dos navios o que implicará numa capacidade máxima oferecida - Δ MAX - por navio. Para o caso específico do Porto de Santos concluiu-se que os parâmetros definidos acima devem ser:

$$\Delta_{\text{MAX}} = 14\ 000 \quad \text{TON/NAVIO} \quad (2.1.a)$$

$$\Delta_{\text{MIN}} = 1\ 000 \quad \text{TON/NAVIO} \quad (2.1.b)$$

Pelos dados fornecidos pela GREMOS podemos calcular o valor médio das tonelagens oferecidas - $E[\Delta]$ - e seu desvio padrão - $\sigma[\Delta]$ - chegando-se aos seguintes valores:

$$E[\Delta] = 4915 \quad \text{TON/NAVIO} \quad (2.2.a)$$

$$\sigma[\Delta] = 3176 \quad \text{TON/NAVIO} \quad (2.2.b)$$

Pode-se então definir uma nova variável - y - com um campo de variação entre 0 e 1:

$$y = \left(\frac{\Delta - \Delta_{\text{MIN}}}{\Delta_{\text{MAX}} - \Delta_{\text{MIN}}} \right) \quad (2.3)$$

ou seja:

$$y = \left(\frac{\Delta - 1\ 000}{13\ 000} \right) \quad (2.4.a)$$

$$E[y] = 0,301 \quad (2.4.b)$$

$$\sigma[y] = 0,167 \quad (2.4.c)$$

Na utilização de uma distribuição Beta de 1ª espécie seus parâmetros "l" e "m" são dados pelas equações abaixo:

$$\frac{\ell}{m} = \frac{E[y]}{1 - E[y]} \quad (2.5.a)$$

$$\frac{\sigma^2[y]}{E[y]} = \frac{m}{(\ell+m)(\ell+m+1)} \quad (2.5.b)$$

donde:

$$m = 4,571 \quad (2.6.a)$$

$$\ell = 1,970 \quad (2.6.b)$$

Para facilidade de cálculo pode-se aproximar os valores acima para:

$$m = 4,57 \quad (2.7.a)$$

$$\ell = 2,00 \quad (2.7.b)$$

Agora pode-se escrever a expressão da função distribuição de probabilidades da Beta com os parâmetros acima:

$$f(y) = \frac{y^{\ell-1} (1-y)^{m-1}}{\beta(\ell, m)} \quad (2.8)$$

Onde $\beta(\ell, m)$ é definida como segue:

$$\beta(\ell, m) = \frac{\Gamma(\ell) \Gamma(m)}{\Gamma(\ell+m)} = \frac{1}{25,45} \quad (2.9)$$

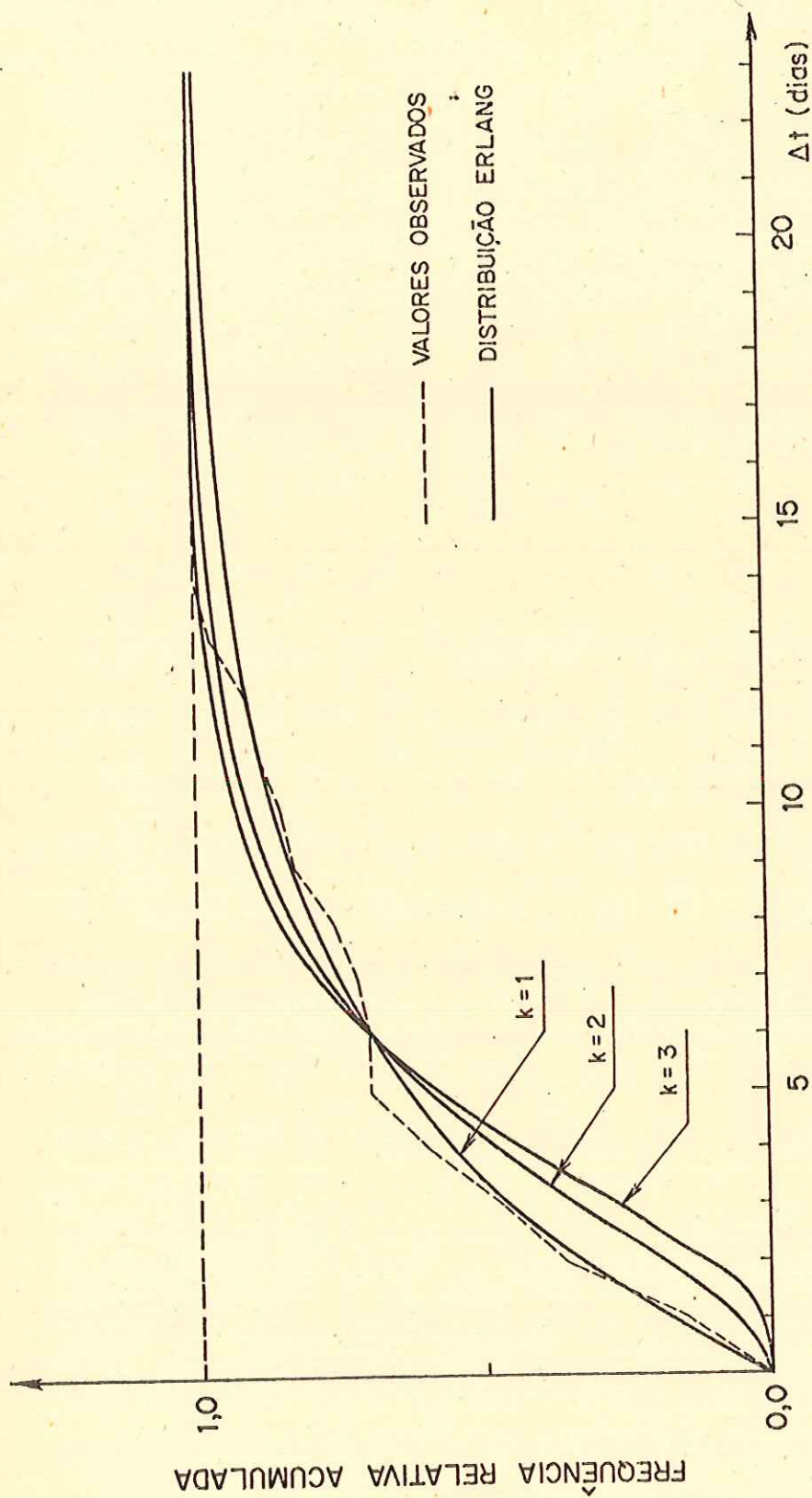


FIG. 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAPACIDADES DE CARGA - () - DOS NAVIOS PARA TRANSPORTE DE GRãos

Logo:

$$f(y) = 25.45 \left[y (1-y)^{3.57} \right] \quad (2.10)$$

Para calcular a função acumulada $F(y)$ basta integrar a expressão de $f(y)$ de "0" a "y"

$$F(y) = \int_0^y f(y) dy \quad (2.11)$$

Logo:

$$F(y) = \left[1 - (4.57y + 1)(1-y)^{4.57} \right] \quad (2.12)$$

Na figura 2.1 pode-se observar a curva dada pela Beta de parâmetros 2 e 4.57 em confronto com os valores observados no porto durante 1971.

2.2. Chegada de Navios para Transporte de Milho

O intervalo médio observado entre chegadas de navios durante o ano de 1971 foi $E[t] = 4.98$ dias com um desvio padrão $\sigma[t] = 4.05$ dias. Admitindo que os intervalos entre chegadas de navios distribuam-se segundo uma Distribuição de Erlang de parâmetro "k" pode-se construir curvas de frequência acumulada para diferentes valores de "k" e observar a que mais se aproxima dos valores observados, ou seja:

$$f_k(t) = \frac{\lambda}{(k-1)!} (\lambda t)^{k-1} e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

$$F_k(t) = 1 - \sum_{K=k-1} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^K}{K!} \quad (2.14)$$

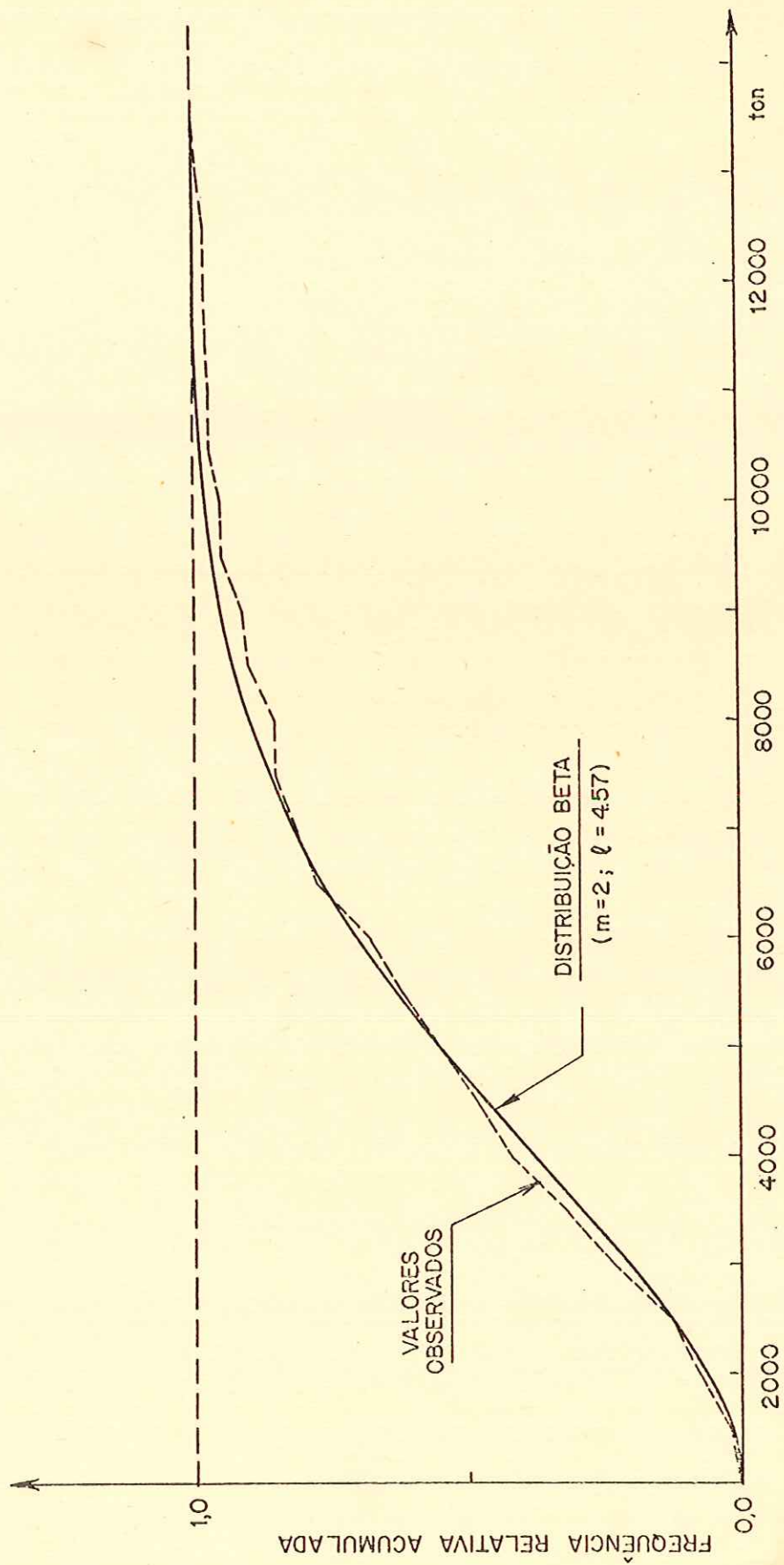


FIG. 2.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS INTERVALOS DE CHEGADA DE NAVIOS - DISTRIBUIÇÃO DE ERLANG DE PARÂMETRO k

$$\lambda = \frac{k}{E(t)} \quad \lambda = \frac{k}{4.98} \quad (2.15)$$

Dai:

$$k = 1 \implies F_1 = 1 - e^{-0.2t} \quad (2.16.a)$$

$$k = 2 \implies F_2 = 1 - [1 + 0.4t] e^{-0.4t} \quad (2.16.b)$$

$$k = 3 \implies F_3 = 1 - \left[1 + 0.6t + \frac{(0.6t)^2}{2} \right] e^{-0.6t} \quad (2.16.c)$$

Na figura 2.2 estão representadas as curvas das equações (2.16) e os valores observados durante o ano de 1971. Pode-se perceber por simples inspeção visual que a distribuição de ERLANG de $k=1$, isto é, uma distribuição Exponencial, é a que melhor se aproxima dos valores observados e portanto esta será a utilizada neste trabalho.

2.3. Taxas Semanais de Retirada de Carga dos Silos

Para aplicação do modelo apresentado no capítulo anterior será necessário o cálculo do fluxo de saída de carga semanal. Nos parágrafos anteriores observa-se que navios chegam a intervalos de tempo distribuídos segundo uma Exponencial de média $E[t] = 5$ dias/navio e que suas tonelagens distribuem-se segundo uma Beta de parâmetros 2.00 e 4.57 com valor médio $E[\Delta] = 4915$ ton/navio e desvio padrão $\sigma[\Delta] = 3176$ ton/navio.

Pode-se a partir disto afirmar que as quantidades de carga extraídas do silo semanalmente têm valor médio e desvio padrão dados como abaixo. Se for definida a variável $[Y]$ como sendo a taxa de retirada de carga do silo podese escrever:

$$E[Y] = \frac{7}{E[t]} \quad E[\Delta] \Rightarrow E[Y] = 6720 \text{ TON/SEMANA} \quad (2.17)$$

$$\sigma[Y] = \sqrt{\frac{7}{E[t]}} \cdot \sigma[\Delta] \Rightarrow \sigma[Y] = 3758 \text{ TON/SEMANA} \quad (2.18)$$

3. CHEGADA DE CARGA AO SILO PORTUÁRIO

Baseando-se em pesquisas especializadas realizadas pelo Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, foi feita a seguinte previsão para produção de milho para o período de um ano neste Estado:

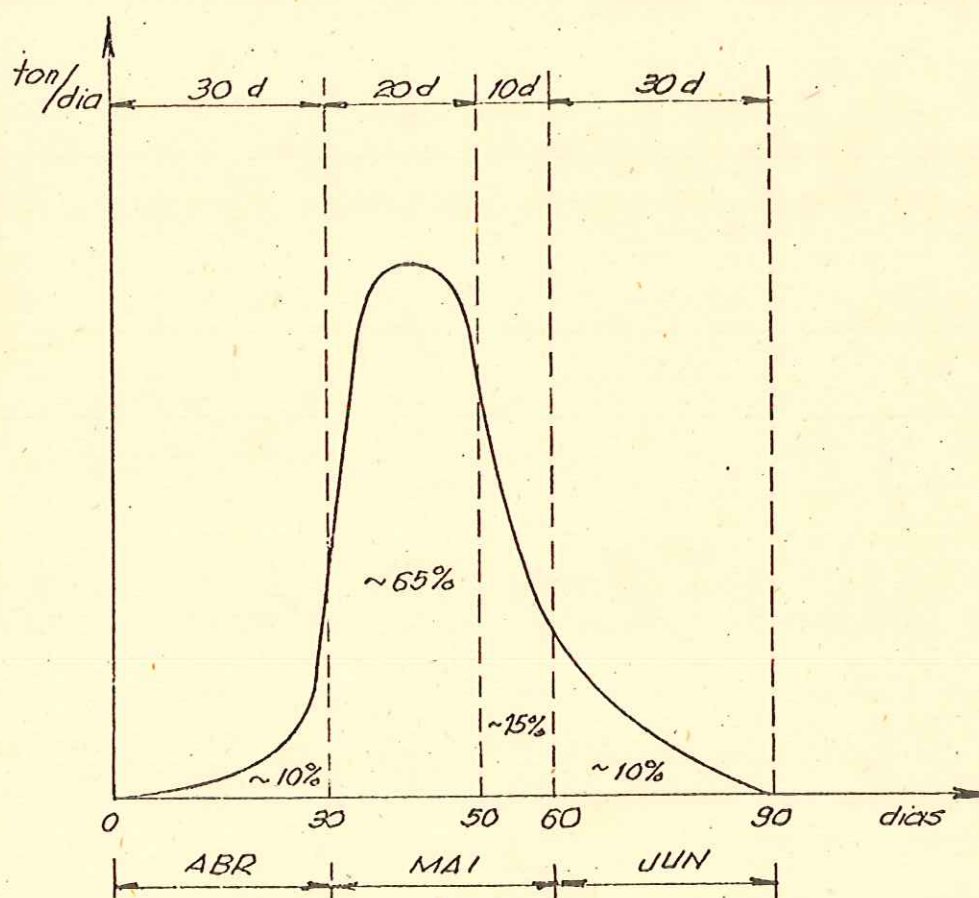


FIG. 3.1 - CICLO DE PRODUÇÃO DE MILHO NO ESTADO DE SÃO PAULO- PERÍODO DE SAFRA.

O período de safra pode ser aproximado para mais ou menos 20 dias onde se tem um pico na produção. É claro que se uma porcentagem da produção total do Estado for separa-

da para exportação a configuração apresentada na FIG. 3.1 ainda será válida para esta porcentagem.

A consequência direta do fato apresentado acima é que o silo portuário sofrerá as consequências de acúmulo de carga nos dias posteriores à safra - defazagem de mais ou menos 10 a 15 dias - mesmo que o sistema de armazenagem regional seja bastante eficiente.

É claro que o silo portuário funcionando somente como um instrumento regulador de carga não deverá ser tamanho muito grande, mesmo porque a armazenagem no porto tem um custo bastante elevado. Apesar disso faz-se necessário prever-se, em termos de capacidade, um acúmulo exagerado de carga na época de pós-safra.

Se for feita a hipótese de produção constante ao longo dos próximos anos poderá ser feito um gráfico como o da FIG. 3.2 para representar ciclos anuais de armazenagem onde seria registrado o nível de grãos no silo ao longo dos anos.

Supondo agora que os totais anuais a serem exportados sejam mais ou menos da mesma ordem que em 1971, isto é, 350.000 toneladas, pode-se concluir que o silo deve ser ali - mentado a uma taxa média de 6.720 toneladas por semana igual à taxa média de saída de carga do silo - $E[Y]$. Portanto se definir-se a variável $[X]$ como sendo a taxa de carregamento do silo teremos em princípio:

$$E[X] = E[Y] \Rightarrow E[X] = 6\,720 \text{ TON/SEMANA} \quad (3.1)$$

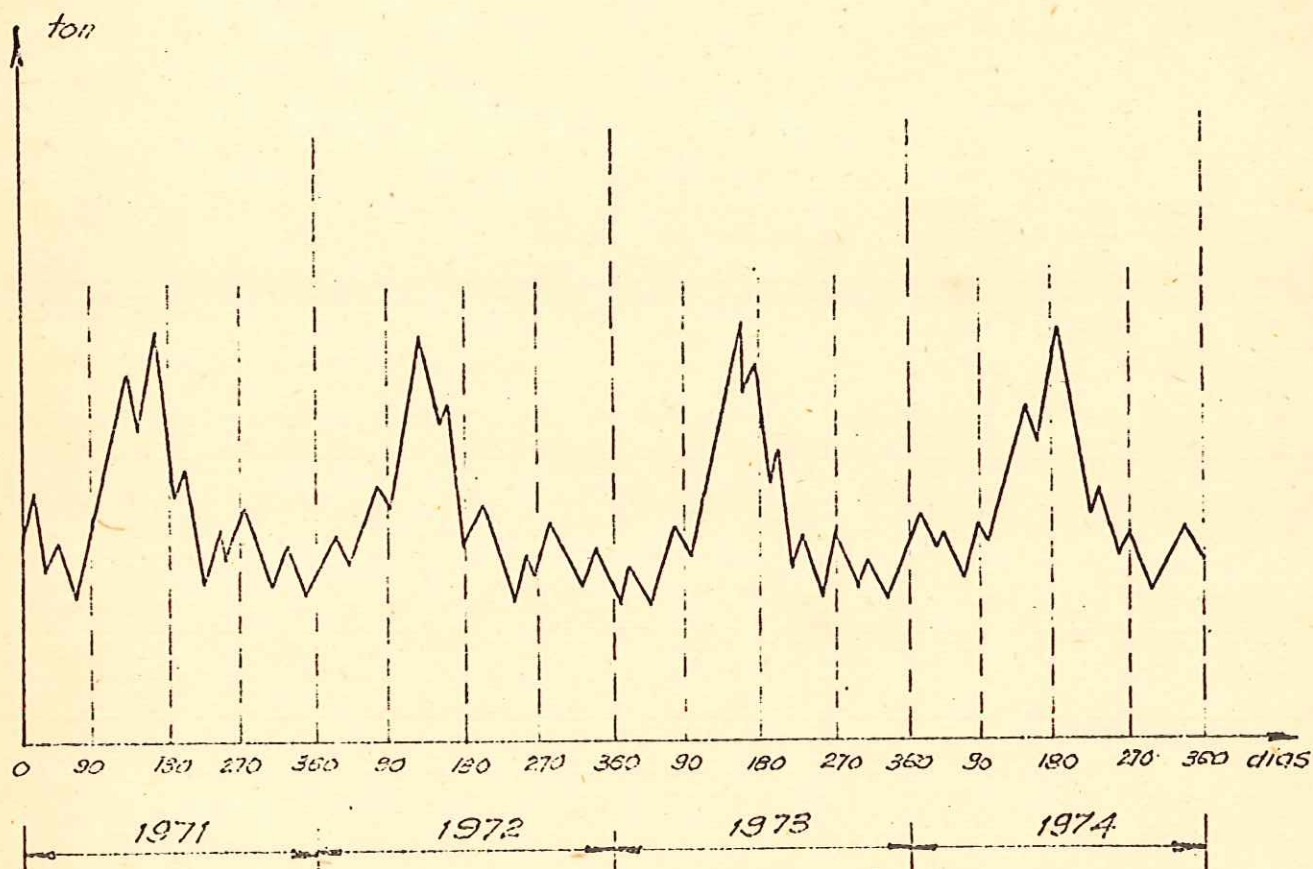


FIG. 3.2 - GRÁFICO REPRESENTATIVO DO NÍVEL DE GRÃOS
NUM SILO - PORTO DE SANTOS - AO LONGO DO
TEMPO. PRODUÇÃO CONSTANTE.

4. DIMENSIONAMENTO DO SILO

4.1. Caso de Dimensionamento para Taxa de Alimentação sem Controle

Adotando-se um estoque reserva igual à maior tonelagem oferecida pelos navios da amostra adotada para este estudo, com uma margem de mais 20% por questões de segurança, teremos:

$$R_R = 15\ 000\ \text{TON} \quad (4.1)$$

Como foi visto no capítulo - 1 admite-se que as taxas de chegada distribuam-se normalmente com um dado valor médio $E[X]$. Quanto ao desvio padrão $\sigma[X]$ serão utilizados três valores para ter-se uma idéia da influência da aleatoriedade nas taxas de carregamento do silo. Com o valor de $\sigma[Y]$ dado pela equação - 2.18 - e com a divisão do período de um ano em semanas - $[n = 52 \text{ períodos}]$ - pode-se calcular os valores de $\sigma[R]$ correspondentes utilizando a equação - - (1.12).

$\sigma[X]$ (TON/SEMANA)	$\sigma[Y]$ (TON/SEMANA)	$\sigma[R]$ (TON)
1 344	3 758	28 780
2 500	3 758	32 548
4 000	3 758	39 577

TABELA - 4.1

Das equações (1.10) e (1.11) tiram-se os valores de R_{MAX} e $R(o)$ para cada $\sigma^2 [X]$:

$\sigma^2 [X]$ (TON/SEMANA)	$R(o)$ (TON)	R_{MAX} (TON)
1 344	71 409	127 819
2 500	78 794	142 588
4 000	90 389	170 143

TABELA - 4.2

Para testar a confiabilidade do modelo foi simulado o funcionamento do sistema para os diversos $\sigma^2 [X]$. As TABELAS 4.3, 4.4 e 4.5 ilustram os resultados obtidos. O nível máximo de graos alcançado em cada caso para o periodo de um ano - R_{MAX}^S - é dado pela tabela 4.6:

$\sigma^2 [X]$ (TON/SEMANA)	R_{MAX} (TON)	R_{MAX}^S (TON)
1 344	127 819	68 620
2 500	142 588	84 228
4 000	170 143	104 480

TABELA - 4.6

Uma diferença razoável a favor dos resultados obtidos pelos cálculos do modelo é evidenciada na Tabela -4.6,

SEMANA	Y (TON/SEMANA)	X (TON/SEMANA)	R (TON)
0	0.0	0.0	41221.9
1	5935.1	11373.1	47157.0
2	4512.7	6354.9	40296.6
3	7706.5	13362.7	41648.2
4	5216.8	8098.3	33502.2
5	7996.4	0.0	33410.3
6	8963.0	10857.6	42373.3
7	5968.8	0.0	37484.5
8	6330.7	13095.7	43815.3
9	6592.3	9010.3	37311.9
10	8675.3	10799.3	36976.8
11	7356.1	18533.7	33533.7
12	7599.7	0.0	22599.7
13	9101.0	0.0	31700.8
14	6540.8	5803.6	38249.6
15	5186.8	7738.4	37632.8
16	6168.4	0.0	36062.7
17	8047.2	7844.8	44109.9
18	5171.0	7048.3	41436.2
19	6872.7	3323.1	41260.6
20	7215.5	6324.1	45152.9
21	6865.9	15502.0	45694.8
22	8179.8	0.0	38372.5
23	6175.5	7275.5	44548.1
24	8096.5	6546.0	45369.1
25	8539.5	15159.0	47362.7
26	7345.7	12812.6	39549.4
27	5695.0	0.0	32431.8
28	7181.9	13337.9	39613.7
29	7425.4	0.0	33701.2
30	7790.7	8352.2	41491.9
31	7605.6	4609.2	40745.3
32	7823.5	5529.7	43959.6
33	9812.8	7555.5	48242.7
34	6670.2	5009.9	47357.3
35	3552.4	9436.3	45899.7
36	8041.0	9821.7	44504.5
37	6599.3	14661.0	41282.0
38	8647.5	0.0	35268.6
39	8060.1	0.0	43328.6
40	6840.1	0.0	50168.7
41	6950.5	10563.8	57119.2
42	6928.5	0.0	53483.9
43	7772.8	8397.8	61256.8
44	9691.1	7492.3	62550.1
45	6609.3	0.0	61667.1
46	6463.4	13312.0	68130.5
47	5279.0	12903.3	60097.6
48	7631.2	0.0	54825.4
49	6435.5	0.0	61260.9
50	5989.9	6955.8	67250.9
51	8335.3	13816.4	68620.3
52	7942.7	0.0	62746.7

TABELA - 4.3

TAXA DE ALIMENTAÇÃO SEM CONTROLE

$$E[X] = 6720 \text{ TON/SEMANA} \quad \sigma[X] = 1300 \text{ TON/SEMANA}$$

$$R_{\text{MAX}} = 68620 \text{ TON}$$

SEMANA	Y (TON/SEMANA)	X (TON/SEMANA)	R (TON)	.21.
0	0.0	0.0	40074.8	
1	5260.0	11373.1	45334.7	
2	2614.2	6354.9	36575.8	
3	8555.0	13362.7	38775.9	
4	3923.8	8088.3	29337.0	
5	9094.3	0.0	30343.0	
6	10892.2	10857.6	41235.2	
7	5322.7	0.0	35700.3	
8	5995.9	13095.7	41696.2	
9	6482.5	9010.3	35083.0	
10	10357.0	10799.3	36429.7	
11	7903.2	18533.7	33533.7	
12	8356.4	0.0	23356.4	
13	11149.0	0.0	34505.4	
14	6401.6	5803.6	40907.0	
15	3868.1	7738.4	38971.4	
16	5693.9	0.0	36926.9	
17	9188.7	7844.8	46115.6	
18	3838.8	7048.3	42109.6	
19	7004.1	3323.1	42065.4	
20	7641.7	6324.1	46383.9	
21	6991.4	15502.0	47051.3	
22	9435.4	0.0	40984.6	
23	5707.2	7275.5	46691.9	
24	9280.5	6546.0	48696.9	
25	10104.4	15159.0	52255.4	
26	7883.9	12812.6	44980.3	
27	4813.4	0.0	36981.2	
28	7579.2	13337.9	44560.4	
29	8032.0	0.0	39254.5	
30	8711.6	8352.2	47966.2	
31	8367.2	4609.2	47981.2	
32	8772.7	5529.7	52144.7	
33	12473.0	7555.5	59088.0	
34	6627.3	5009.9	58159.7	
35	827.8	9436.3	53977.6	
36	9177.3	9821.7	53718.6	
37	6495.4	14661.0	50392.3	
38	10305.4	0.0	46036.7	
39	9212.7	0.0	55249.3	
40	6943.4	0.0	62192.8	
41	7148.8	10563.8	69341.5	
42	7107.8	0.0	65885.5	
43	8678.4	8397.8	74563.9	
44	12246.6	7492.3	78412.8	
45	6514.0	0.0	77434.5	
46	6242.8	13312.0	83677.3	
47	4039.6	12903.3	74404.9	
48	8414.9	0.0	69916.5	
49	6190.8	0.0	76107.3	
50	5362.0	6945.8	81469.3	
51	9724.6	13816.4	84228.1	
52	8994.3	0.0	79406.0	

TABELA - 4.4

TAXA DE ALIMENTAÇÃO SEM CONTROLE

$$E[X] = 6720 \text{ TON/SEMANA} \quad \tilde{G}[X] = 2500 \text{ TON/SEMANA}$$

$$R_{\text{MAX}} = 84 \text{ 228 TON}$$

.22.

SEMANA	Y (TON/SEMANA)	X (TON/SEMANA)	R (TON)
0	0.0	0.0	38586.3
1	4383.9	11373.1	42970.2
2	150.7	6354.9	31747.8
3	9656.0	13362.7	35048.9
4	2246.1	8088.3	23932.2
5	10518.9	0.0	26362.8
6	13395.6	10857.6	39758.4
7	4484.3	0.0	33385.2
8	5561.4	13095.7	38946.6
9	6340.0	9010.3	32190.8
10	12539.2	10799.3	35719.8
11	8613.2	18533.7	33533.7
12	9338.3	0.0	24338.3
13	13806.4	0.0	38144.6
14	6210.5	5803.6	44355.1
15	2156.9	7738.4	40708.5
16	5078.3	0.0	38048.3
17	10669.9	7844.8	48718.2
18	2110.0	7048.3	42983.5
19	7174.6	3323.1	43109.7
20	8194.7	6324.1	47981.2
21	7154.3	15502.0	48811.4
22	11064.6	0.0	44374.0
23	5099.6	7275.5	49473.6
24	10816.8	6546.0	53014.9
25	12135.1	15159.0	58604.1
26	8582.3	12812.6	52027.3
27	3669.5	0.0	42884.3
28	8094.7	13337.9	50979.0
29	8819.3	0.0	46460.4
30	9906.6	8352.2	56367.0
31	9355.6	4609.2	57370.4
32	10004.3	5529.7	62765.5
33	15924.8	7555.5	73160.5
34	6571.7	5009.9	72176.7
35	2707.5	9436.3	64459.3
36	10651.6	9821.7	65674.6
37	6360.6	14661.0	62213.5
38	12456.8	0.0	60009.2
39	10708.3	0.0	70717.4
40	7077.5	0.0	77794.9
41	7406.0	10563.8	85200.9
42	7340.4	0.0	81977.6
43	9853.5	8397.8	91831.0
44	15562.6	7492.3	98995.8
45	6390.4	0.0	97894.0
46	5956.4	13312.0	103850.4
47	2431.4	12903.3	92969.8
48	9431.8	0.0	89498.3
49	5873.3	0.0	95371.6
50	4547.2	6965.8	99918.8
51	11527.3	13816.4	104480.3
52	10358.9	0.0	101022.9

TABELA - 4.5

TAXA DE ALIMENTAÇÃO SEM CONTROLE

$$E[X] = 6720 \text{ TON/SEMANA} \quad \sigma[X] = 6000 \text{ TON/SEMANA}$$

$$R_{\text{MAX}} = 104 \text{ 480 TON}$$

o que dá uma margem de segurança muito boa para sua utilização.

Um comentário adicional talvez se faça necessário no que tange aos resultados obtidos na simulação. Como nesse problema foi utilizado apenas o período básico de um ano é possível que os valores de R_{MAX}^S aproximem-se mais dos resultados obtidos para o modelo. De qualquer maneira, mesmo admitindo-se uma margem de erro da ordem de 10 a 20% sobre esses valores, isso não invalidaria a aplicação do modelo apresentado.

4.2. Caso de Dimensionamento para Taxa de Alimentação Controlada

Antes da aplicação direta do modelo apresentado no capítulo-1 uma pequena análise da influência da existência de controle sobre a taxa de alimentação do silo será feita através de simulação para duas situações:

I. TAXA DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE DURANTE TODO O ANO

Fazendo-se simplesmente $E[X] = E[Y] = 6\,720$ ton/semana, durante todo o ano chega-se aos resultados apresentados na Tabela - 4.7 com $R_{MAX}^S = 39\,360$ ton.

CHEGADA DE NAVIOS

TONELAGEM P/NAVIO

NÍVEL DO SILO

.24.

t
(HORAS) Δ
(TON)R
(TON)

0.0	3342.0	39360.3
36.7	4421.2	37486.6
109.1	6951.9	35962.6
308.6	2878.1	36988.9
333.2	3476.8	35096.2
373.8	2204.5	33243.1
384.7	3905.4	31475.0
438.8	7252.8	29731.5
658.0	8058.3	31249.2
939.0	3719.6	34400.1
987.0	7138.0	32600.9
1198.6	1929.7	33925.8
1205.3	5429.4	32265.2
1320.7	2735.6	31449.5
1342.0	3001.0	29567.6
1369.6	4356.7	27672.0
1439.7	4653.6	26115.3
1521.1	1711.5	24721.3
1525.2	4049.3	23172.3
1584.1	5038.5	21480.3
1681.7	1908.3	20345.1
1688.2	2460.1	18694.5
1703.7	3455.0	16856.8
1743.7	10710.3	15000.0
2316.8	5803.6	27215.2
2450.5	7738.4	26760.7
2704.4	7844.8	29176.3
2966.3	7048.3	31806.6
3171.9	3323.1	32985.5
3208.1	6324.1	31109.5
3369.8	3655.8	31253.3
3415.8	3013.2	29437.9
3443.8	8833.0	27542.3
3789.7	7275.5	32544.7
4010.5	2332.2	34101.6
4023.6	1875.8	32295.2
4029.6	2338.0	30660.1
4042.9	2792.2	28852.1
4065.5	5538.6	26965.0
4186.1	1602.4	26249.1
4189.0	5225.8	24765.0
4294.9	3572.9	23775.5
4338.4	2366.9	21941.3
4352.2	6872.8	20125.7
4546.6	1849.4	21030.6
4552.3	3337.6	19408.3
4588.9	8150.8	17534.1
4874.9	8352.2	20824.4
5177.7	4609.2	24583.3
5257.4	5529.7	23163.0
5377.6	7555.5	22438.7
5618.0	5009.9	24500.5
5714.3	6298.7	23344.2
5874.6	3137.6	23456.0
5905.7	5010.8	21563.9
6002.1	4810.9	20408.2
6090.0	3330.2	19113.5
6126.4	11330.8	17238.3
6807.8	3420.2	33162.1
6846.7	7143.5	31299.6
7058.6	8397.8	32633.6
7365.3	7492.3	36502.3
7601.2	3244.0	38446.1
7635.2	4772.2	36561.7
7721.5	5295.8	35241.6
7830.6	4050.8	34310.2
7889.6	8852.4	32619.0
8237.3	6965.8	37674.6
8437.6	3455.9	38722.5
8477.6	10360.4	36865.8

TABELA - 4.7

TAXA DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE: $E[X] = E[Y] = 6720 \text{ TON}$ $R_{\text{MAX}} = 39 \text{ 360 TON}$

II. TAXA DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE DURANTE O PERÍO
DO DE SAFRA E SUPERIOR À DO RESTO DO ANO

No capítulo - 3 evidenciou-se a existência de sobrecarga no silo portuário durante um certo período do ano que vai mais ou menos do dia 131 ao 210 - convencionando-se que os dias 1 e 365 são respectivamente dia 1 de janeiro e 31 de dezembro.

Para alcançar-se no ano a tonelagem mínima necessária para exportação, isto é, de aproximadamente 350 000 ton, dividiu-se as quantidades a chegar no porto segundo a tabela 4.8.

PERÍODO (Dias)	Quantidade		Taxa Alimentação $\bar{E}$ $\bar{E} = E [X]$ (TON/HORA)
	(%)	(TON)	
de 1 a 130	~ 27,4	95 800	31
de 131 a 210	~ 40.0	140 000	73
de 211 a 365	~ 32.6	114 200	31

TABELA - 4.8

A tabela - 4.9 apresenta os resultados obtidos na simulação onde $R_{MAX}^S = 74\ 317$ ton.

Conclui-se que mesmo considerando um período de excesso de carga o tamanho mínimo do silo para tal situação, mas com um controle que faça o fluxo de entrada permanecer cons

CHEGADA DE NAVIOS

t
(HORAS)

0.0
36.7
109.1
308.6
333.2
373.8
384.7
438.8
658.0
939.0
987.0
1198.6
1205.3
1320.7
1342.0
1369.6
1439.7
1521.1
1525.2
1584.1
1691.7
1688.2
1703.7
1743.7
2316.8
2450.5
2704.4
2966.3
3171.9
3208.1
3369.8
3415.8
3443.8
3789.7
4010.5
4023.6
4029.6
4042.9
4065.5
4186.1
4189.0
4294.9
4338.4
4352.2
4546.6
4552.3
4598.9
4874.9
5177.7
5257.4
5377.6
5618.0
5714.3
5874.6
5905.7
6002.1
6090.0
6126.4
6807.8
6846.7
7058.6
7365.3
7691.2
7635.2
7721.5
7830.6
7809.6
8237.3
8437.6
8477.6

TONELAGEM P/NAVIO

△
(TON)

3342.0
4421.2
6951.9
2878.1
3476.8
2204.5
3905.4
7252.8
8088.3
3719.6
7138.0
1929.7
5429.4
2735.6
3001.0
4356.7
4653.6
1711.5
4049.3
5038.5
1908.3
2460.1
3455.0
10710.3
5803.6
7738.4
7844.8
7048.3
3323.1
6324.1
3655.8
3013.2
8833.0
7275.5
2332.2
1875.8
2338.0
2792.2
5538.6
1602.4
5225.8
3572.9
2366.9
6872.8
1849.4
3337.6
8150.8
8352.2
4609.2
5529.7
7555.5
5009.9
6298.7
3137.6
5010.8
4810.9
3330.2
11330.8
3420.2
7143.5
8397.8
7492.3
3244.0
4772.2
5295.8
4050.8
8852.4
6965.8
3455.9
10360.4

NÍVEL DO SILO

R
(TON)

55053.4
52849.3
50673.4
49904.6
47790.2
45571.8
43705.5
41475.6
41019.9
41641.9
39410.7
38831.4
37110.3
35256.5
33182.5
31038.2
28851.5
26724.1
25138.5
22916.2
20902.7
19194.1
17216.4
15000.0
22057.0
20398.9
20529.9
20803.3
22312.8
21630.7
27110.4
26813.4
25839.8
42256.5
51100.1
49727.5
48290.9
46920.1
45779.7
49042.5
47656.1
50161.5
49761.6
48400.9
55722.3
54287.5
53620.6
66349.8
74317.1
72179.3
70373.8
70271.6
68248.2
66917.7
64745.4
62722.3
60636.4
58433.9
68225.4
56012.4
65438.9
66547.7
66368.4
64178.0
62081.3
60167.8
57945.7
59872.0
59116.8
56900.3

TABELA - 4.9

TAXA DE ALIMENTAÇÃO CONSTANTE POR PERÍODOR_{MAX} = 74 317 TON

tante, será bem baixo relativamente às situações anteriormente consideradas, ou seja, sem controle.

Aplicando-se agora o modelo apresentado no capítulo - 1 e adotando-se o fator $\alpha = 0,10$, isto é, admitindo-se possibilidade de alteração do fluxo de entrada em até 10% em relação a $E[X] = E[Y] = 6\,720$ TON/SEMANA tem-se da equação (1.8):

$$\sigma[R] = \frac{\sigma[Y]}{\sqrt{1-(1-0,1)^2}} \Rightarrow \sigma[R] = 8\,621 \text{ TON/SEMANA} \quad (4.2)$$

e da equação (1.11) obtém-se:

$$\boxed{R_{MAX} = 48\,796 \quad \text{TON}} \quad (4.3)$$

Utilizando-se as relações (1.4) e (1.5) na simulação - tabela 4.10 - obtém-se:

$$\boxed{R_{MAX}^S = 54\,255 \quad \text{TON}} \quad (4.4)$$

As observações anteriormente feitas quanto ao período de vários anos, para o qual talvez se devesse estender a simulação, também aqui são válidas. De qualquer maneira os resultados são bastante próximos e juntos comprovam a grande vantagem de poder-se contar com um controle, pelo menos sobre a taxa de alimentação do silo.

SEMANA	Y (TON/SEMANA)	δX (TON)	X (TON/SEMANA)	R (TON)
0	0.0	0.0	6720.0	15000.0
1	11373.1	2694.8	9414.8	24414.8
2	6354.9	1753.3	8473.3	21515.0
3	13362.7	2043.3	8763.3	23923.4
4	8088.3	1802.4	8522.4	19083.0
5	0.0	2286.5	9006.5	20001.2
6	10857.6	2194.7	8914.7	28915.8
7	0.0	1303.2	8023.2	26081.5
8	13095.7	1586.6	8306.6	34388.1
9	9010.3	756.0	7476.0	28768.4
10	10799.3	1317.9	8037.9	27796.0
11	18533.7	1415.2	8135.2	25131.9
12	0.0	1681.6	8401.6	14999.8
13	0.0	2694.8	9414.8	24414.6
14	5803.6	1753.3	8473.3	32887.9
15	7738.4	906.0	7626.0	34710.3
16	0.0	723.7	7443.7	34415.6
17	7844.8	753.2	7473.2	41888.8
18	7048.3	5.9	6725.9	40770.0
19	3323.1	117.8	6837.8	40559.4
20	6324.1	138.8	6858.8	44095.1
21	15502.0	-214.7	6505.3	44276.3
22	0.0	-232.9	6487.1	35261.4
23	7275.5	668.6	7388.6	42650.0
24	6546.0	-70.2	6649.8	42024.4
25	15159.0	-7.7	6712.3	42190.7
26	12612.6	-24.3	6695.7	33727.5
27	0.0	822.0	7542.0	28456.9
28	13337.9	1349.1	8069.1	36526.0
29	0.0	542.2	7262.2	30450.3
30	8352.2	1149.7	7869.7	38320.1
31	4609.2	362.8	7082.8	37050.7
32	5529.7	489.7	7209.7	39651.1
33	7555.5	229.7	6949.7	41071.0
34	5009.9	87.7	6807.7	40323.2
35	9436.3	162.5	6882.5	42195.7
36	9821.7	-24.8	6695.2	39454.6
37	14661.0	249.3	6969.3	36602.2
38	0.0	534.6	7254.6	29195.8
39	0.0	1275.2	7995.2	37191.0
40	0.0	475.7	7195.7	44386.7
41	10563.8	-243.9	6476.1	50862.8
42	0.0	-891.5	5828.5	46127.5
43	8397.8	-418.0	6302.0	52429.5
44	7492.3	-1048.2	5671.8	49703.5
45	0.0	-775.6	5944.4	48155.7
46	13312.0	-620.8	6099.2	54254.9
47	12903.3	-1230.7	5489.3	46432.2
48	0.0	-448.4	6271.6	39800.5
49	0.0	214.7	6934.7	46735.2
50	6965.8	-478.7	6241.3	52976.5
51	13816.4	-1102.9	5617.1	51627.8
52	0.0	-968.0	5752.0	43563.4

TABELA - 4.10

TAXA DE ALIMENTAÇÃO COM CONTROLE: $\infty = 0.10$

$P_{MAX} = 54\ 255\ 104$

5. CONCLUSÕES

O que fica bem evidente no fim deste trabalho é a necessidade de haver um controle sobre a taxa de carregamento do silo. Os testes feitos mostraram sempre que ao aplicar-se qualquer tipo de controle sobre a taxa de carregamento o tamanho mínimo necessário do silo diminuía bastante.

Evidentemente outros fatores deverão ainda ser considerados tais como, custo de armazenagem versus custo de espera do navio. Isto é bastante importante visto que o custo de armazenagem no porto é sabido ser bastante elevado. Talvez exista mais vantagem em fazer-se com que o navio espere um ou dois dias para receber carga com um certo custo associado a essa espera, do que dedicar-se um volume muito grande para o silo a ser construído com um custo de armazenagem bastante elevado.

Um outro ponto interessante é que ao ter-se taxas de carregamento do silo constantes diminui-se substancialmente o tamanho mínimo necessário do mesmo. Logo, fora da área do porto foi construído um silo regulador para receber os grãos das zonas de produção e alimentar o silo do porto com uma taxa constante durante todo o tempo ou variável conforme a demanda, mas controlável, então o silo do porto não precisaria ser tão grande com altos custos de armazenagem e nem teríamos problemas maiores quanto a não haver carga no momento de chegada de cada navio.

Em qualquer dos casos o modelo desenvolvido por NOVAES-(1) demonstrou ser bastante eficiente nesta primeira aproximação para o dimensionamento de um silo. Existe é claro a necessidade de ser associada uma minimização dos custos totais, isto é, de armazenagem, de construção, de manuseio da carga, de espera para carregar, etc., para então chegar - se a uma solução ótima para o problema.

6. BIBLIOGRAFIA

- 1 - NOVAES, A.G.N. "PESQUISA OPERACIONAL E TRANSPORTES", Editora Mc Graw-Hill do Brasil, S.Paulo , 1975.
- 2 - GREMOS - "ESTATÍSTICAS DE MOVIMENTAÇÃO DE GRÃOS NO ESTADO DE SÃO PAULO", Publ. Interna, 1972.
- 3 - SAMUEL KARLIN - "A FIRST COURSE IN STOCHASTIC PROCESSES", Academic Press, Inc. (London) Ltd, 1972.