Universidade do Minho

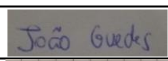
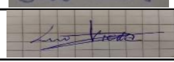
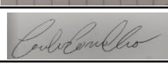
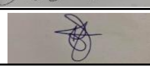
2ºSemestre 2020/21

(MIEI, 3ºAno)

Modelos Estocásticos de Investigação Operacional

(Problema de Gestão de Inventários)

Identificação do Grupo

Número:	*Nome completo:*	*Rubrica:*
A89588	João Pedro da Santa Guedes	
A89601	Luís Pedro Oliveira de Castro Vieira	
A89605	Carlos Miguel Luzia de Carvalho	
A89610	Bárbara Ferreira Teixeira	

Data de entrega: 2021-04-26

1

Índice

1 Introdução

Nos dias que correm o mercado e cada vez mais competitivo e cabe a cada empresa assegurar uma gestão correta do seu inventário. Esta gestão recorre muitas vezes a simulações que tentam recriar o mundo real através do uso de políticas de gestão de stock. Neste relatório vamos mostrar a resolução das questões propostas no enunciado desta UC, referente à gestão de inventários e simulação de politicas sendo então o enunciado apresentado já em baixo.

1.1 Enunciado

A Café&Afins é uma empresa que importa café do Brasil e o distribui por vários países da Europa.

As vendas da empresa têm aumentado a um ritmo apreciável, como pode ser constatado pela análise dos dados em anexo, referentes aos últimos três anos.

Semanalmente, o Sr. Gervásio, responsável pela gestão do armazém da empresa, analisa as encomendas em carteira e o nível de inventário para decidir se é necessário efetuar alguma encomenda ao fornecedor. Aqui começam a surgir os problemas, porquanto quando uma encomenda é lançada, o prazo de entrega respetivo pode ser igual a uma, duas ou três semanas, com probabilidades p1, p2 e p3, respetivamente.

Atualmente, o Sr. Gervásio pratica uma política nível de encomenda que consiste em encomendar quantidades fixas de 1700 sacos de café (de 60 kg) sempre que o stock em mão baixa os 1200 sacos. Após dois anos a usar este tipo de política, o Sr. Gervásio detetou alguns problemas. Assim, *"ele acha que em alguns períodos, o stock é demasiado elevado e mal cabe no armazém, mas, por vezes, o fornecedor atrasa-se na entrega e o café não chega para as encomendas"*. Nas situações em que o stock se esgotou, no passado, cerca de 40% das encomendas dos clientes foram canceladas, enquanto as restantes foram entregues aos clientes com atrasos diversos.

Os custos de transporte do café desde o porto de Leixões até ao armazém da empresa são suportados pela Café&Afins. Presentemente, esses custos são da ordem dos 1500 euros por encomenda realizada pelo fornecedor. A taxa de juro anual, correspondente à posse de inventário do café nesta empresa, está estimada em 15%, e inclui a renda do armazém, seguros, manutenção, assim como o custo de oportunidade do capital investido. O custo de quebra está estimado em C_2 euros por saco.

O preço de compra do café ao fornecedor pode variar significativamente ao longo do tempo, dependendo do tipo e qualidade da matéria-prima (e respetiva cotação nos mercados), mas, para efeitos da presente análise, pode considerar-se um preço médio de 115 euros por saco (60 kg).

Por recomendação de um consultor a quem recorreu, a empresa pretende agora adotar uma política de gestão de inventário do tipo (s,S) com um ciclo de 4 semanas. Consciente da importância de garantir um bom nível de serviço aos clientes, o Sr.Gervásio pretende que não haja, em média, mais do que uma situação de quebra de stock por cada dois anos.

A política (s,S) funciona exatamente como a política ciclo de encomenda, exceto que, no final de cada ciclo t, a encomenda só é efetivamente realizada se o stock em mão, nesse momento, for igual ou inferior a um nível de referência preestabelecido s (ver Apontamentos, pgs. 66 e 67). A política (s,S) prescinde, assim, da realização de pedidos de encomenda nos momentos em que o nível de inventário no sistema é considerado demasiado alto (i.e.,maior do que um determinado nível de referência s) para justificar um novo pedido. Infelizmente, porém, os parâmetros ótimos, t, s e S, são difíceis de determinar analíticamente. Em alternativa, utiliza-se frequentemente a técnica da simulação para estimar estes parâmetros.

1.2 Análise Inicial do Enunciado

Após uma análise cuidada e atenta do enunciado pudemos retirar diversos dados que nos serão essenciais à resolução de cada uma das alíneas.

Assim temos p1 = 0.21 + d1/100 , p2 = 0.52 + d2/100 e p3 = 1 - p1 - p2 bem como C_2 = 20 + 2 x d3, referidos no rodapé do enunciado, e de acordo com o maior número mecanográfico do grupo, A89610, temos que:

- p1 = 0.21 + 6/100 = 0.27
- p2 = 0.52 + 1/100 = 0.53
- p3 = 1 - 0.27 - 0.53 = 0.2
- C_2 = 20 + 2 x 0 = 20

Temos também que i=0.15/ano , presente em *"A taxa de juro anual, correspondente À posse de inventário do café nesta empresa, está estimada em 15%..."*, e b=155€/artigo, presente em *"O preço de compra do café (...) pode considera-se um preço médio de 115 euros por saco (60kg)."*, o que implica que C_1 = i x b = 0.15 * 115 = 17.25 €/artigo/ano. No entanto como estamos a tratar de uma procura semanal, queremos também saber o custo de posse de um artigo semanalmente, logo C_1 = 17.25 / 50 = 0.345€/artigo/semana.

De *"Os custos de transporte (...) são da ordem dos 1500 euros por encomenda realizada pelo fornecedor"*, retiramos que o custo de encomenda é de 1500 euros, ou seja, C_3 = 1500€/encomenda.

Por fim, da seguinte afirmação *"Atualmente, o Sr.Gervásio pratica uma política nível de encomenda que consiste em encomendar quantidade fixas de 1700 sacos de café (de 60 kg) sempre que o stock em mão baixa os 1200 sacos"*, retiramos que q* = 1700 e que S=1200, para a política nível de encomenda que o Sr.Gervásio praticava inicialmente.

Com os dados que retiramos da análise cuidada do enunciado, aliadas aos dados em anexo, somos agora capazes de responder de forma correta às questões levantadas no mesmo.

2 Resolução das Questões

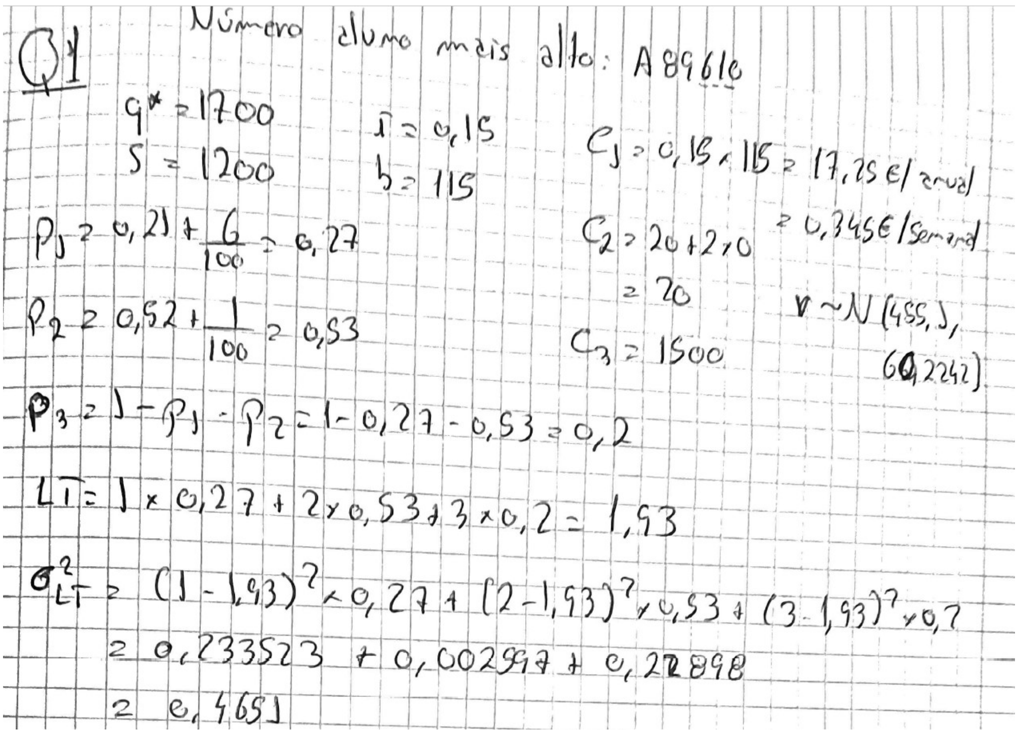
2.1 Questão 1

Estime analiticamente os valores dos parâmetros da politica nível de encomenda que teriam sido mais adequados para o último ano (2020). Quanto é que a empresa poderia ter poupado em custos e ou evitado em quebras de stock, ao longo do último ano, se tivesse usado parâmetros mais racionais na sua politica de gestão?

Tendo já em nossa posse a informação necessária para a realização da questão, basta-nos agora completar a mesma com mais alguns cálculos que nos serão também eles úteis na resolução da mesma.

Fazendo uso das probabilidades de cada prazo de entrega, 1, 2, ou 3 semanas, vamos calcular o prazo de entrega médio, bem como a sua variância.

Assim, temos que:



Q1 Número aluno mais alto: A89616

$q^* = 1700$ $\quad r = 0{,}15$ $\quad C_1 = 0{,}15 \times 115 = 17{,}25$ €/ano/u $= 0{,}345$€/semana

$S = 1200$ $\quad b = 115$ $\quad C_2 = 20 + 2 \times 0 = 20$

$C_3 = 1500$ $\quad r \sim N(455{,}1,\ 60{,}2242)$

$p_1 = 0{,}21 + \frac{6}{100} = 0{,}27$

$p_2 = 0{,}52 + \frac{1}{100} = 0{,}53$

$p_3 = 1 - p_1 - p_2 = 1 - 0{,}27 - 0{,}53 = 0{,}2$

$LT = 1 \times 0{,}27 + 2 \times 0{,}53 + 3 \times 0{,}2 = 1{,}93$

$\sigma^2_{LT} = (1-1{,}93)^2 \times 0{,}27 + (2-1{,}93)^2 \times 0{,}53 + (3-1{,}93)^2 \times 0{,}2$

$= 0{,}233523 + 0{,}002597 + 0{,}22898$

$= 0{,}4651$

Figure 1: Prazo de Entrega Médio e Variância

Com estes dados conseguimos agora calcular a média da procura durante o prazo de entrega bem como o seu desvio padrão, usando como procura uma distribuição N(455.1 , 60.2242), dados esses adquiridos através da fórmula *MÉDIA* e *DESVPAD* imbutidas no Excel para as procuras semanais do ano de 2020.

Desta forma, obtemos:

Passamos então agora a calcular o custo que tem a política nível de encomenda que o Sr.Gervásio possuía implementada com q* = 1700 e S = 1200. Começamos por averiguar a esperança do volume de quebra, uma vez que é o único dado que nos falta para poder averiguar o custo total. Para tal

AVG	335,000	389,660	455,100
DESVPAD	42,33346724	44,56758683	60,22415611

Figure 2: Médias e Desvios Padrões das Procuras para os anos de 2018, 2019 e 2020

$$\mu_{DDLT} = r \times LT = 455,1 \times 1,93 = 878,343$$

$$\sigma_{DDLT} = \sqrt{\sigma_r^2 \times LT + r^2 \times \sigma_{LT}^2} = \sqrt{60,2242^2 \times 1,93 + 455,1^2 \times 0,4651}$$

$$= 321,4493$$

Figure 3: Prazo de Entrega Médio e Variância

calculamos o fator de segurança Z, que nos irá permitir, consultando a tabela da Normal, averiguar a segunda integral para o cálculo da esperança do volume de quebra.

Concluímos então que:

$$S = \mu_{DDLT} + Z \times \sigma_{DDLT}$$

$$\Leftrightarrow 1200 = 878,343 + Z \times 321,4493$$

$$\Leftrightarrow Z = 1,000646 \Rightarrow N = \frac{1,000646 \times 100}{3}$$

$$= 33,355 \simeq 33$$

$$E[DDLT > S] = 0,081837 \times 321,4493 = 26,30645$$

$$C_T|_{S=1200,\, q^*=1700} = C_1 \times \left(\frac{q}{2} + S - \mu_{DDLT}\right) + C_2 \times E[DDLT > S] \times \frac{r}{q} + C_3 \times \frac{r}{q}$$

$$= 0,345 \times \left(\frac{1700}{2} + 1200 - 878,343\right) + 20 \times 26,30645 \times \frac{455,1}{1700} + 1500 \times \frac{455,1}{1700}$$

$$= 946,628\text{ €} / \text{semana} \simeq 947\text{ €} / \text{semana}$$

Figure 4: Cálculo do Custo da Política de Encomenda Previamente Implementada

Resta-nos agora calcular os parâmetros que permitem minimizar o custo da gestão de inventário ao Sr.Gervásio usando uma política de nível de encomenda.

Serão realizadas uma séries de aproximações até se verificar uma convergência do risco ótimo de quebra.

A primeira aproximação conta com um cálculo da quantidade ótima a encomendar diferente das seguintes, uma vez que desconhecemos S, e consequentemente a esperança do volume de quebra, impossibilitando-nos de aplicar a seguinte fórmula:

$$q^* = \sqrt{\frac{2r\left(C_2 E[DDLT > S] + C_3\right)}{C_1}}$$

Figure 5: Fórmula de Cálculo da Quantidade Ótima a Encomendar

Assim, temos:

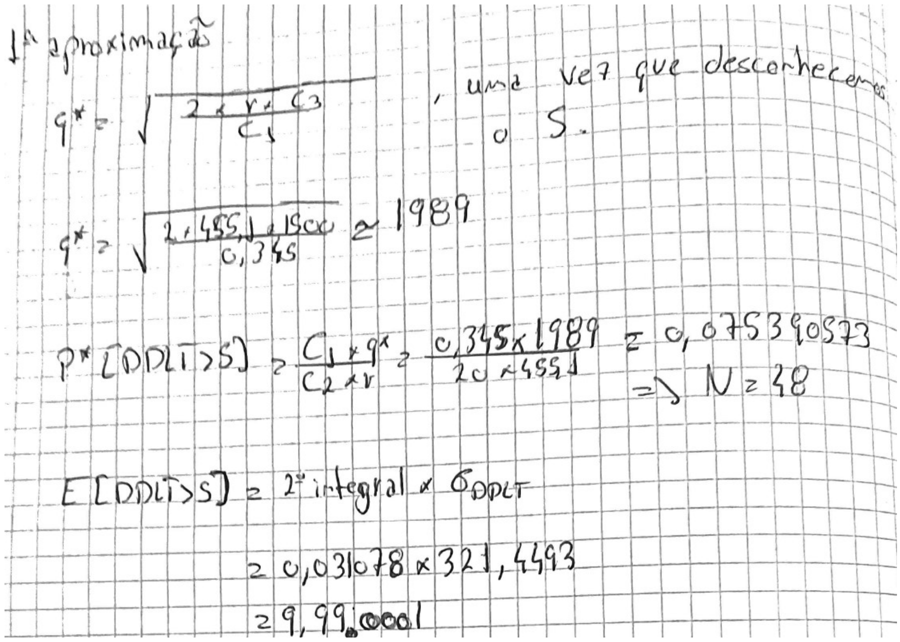


Figure 6: Primeira Aproximação

Tendo agora obtido o valor de E[DDLT>S], podemos então fazer uso da fórmula para a quantidade ótima a encomendar, previamente mencionada, obtendo então os seguintes resultados para a segunda aproximação:

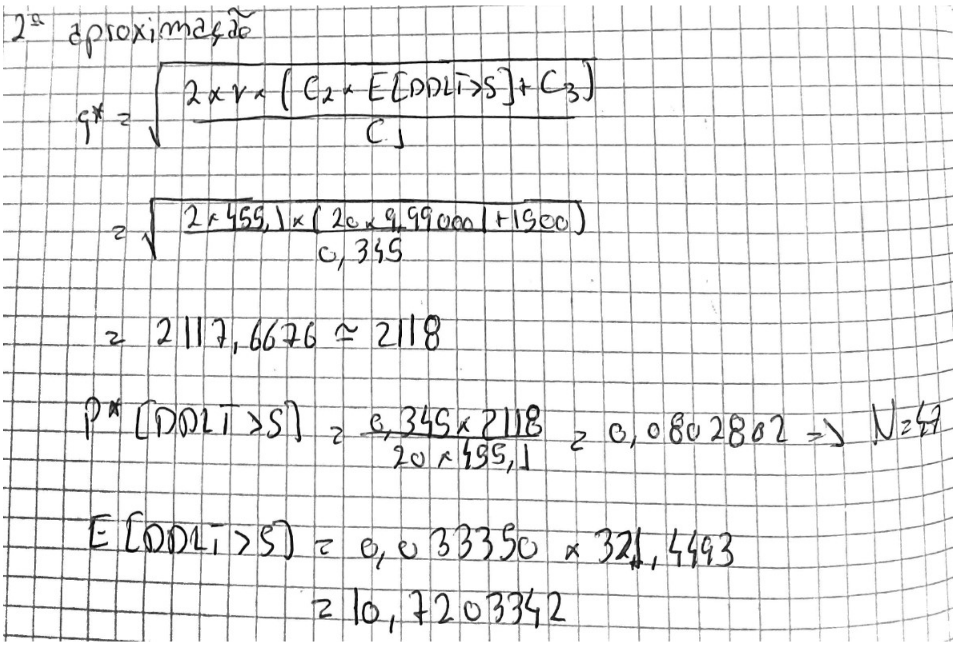


Figure 7: Segunda Aproximação

Como podemos verificar ainda não existe convergência logo necessitamos de realizar, pelo menos, mais uma aproximação:

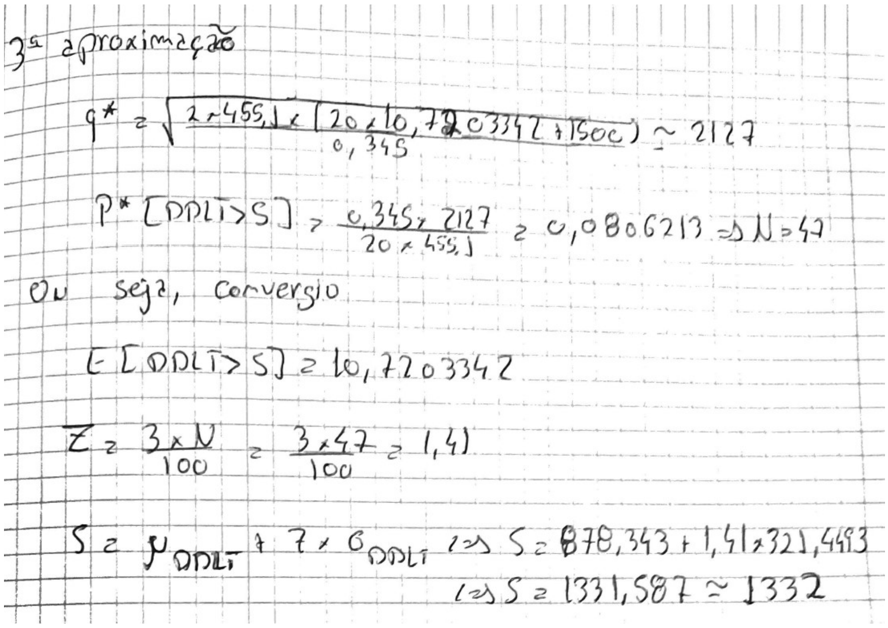


Figure 8: Terceira Aproximação

Por fim verificamos uma convergência no risco ótimo de quebra e podemos calcular o fator de segurança e consequentemente o nível de encomenda S.

Resta-nos então calcular o custo da nossa política de nível de encomenda e fazer a comparação com a política de nível de encomenda do Sr.Gervásio.

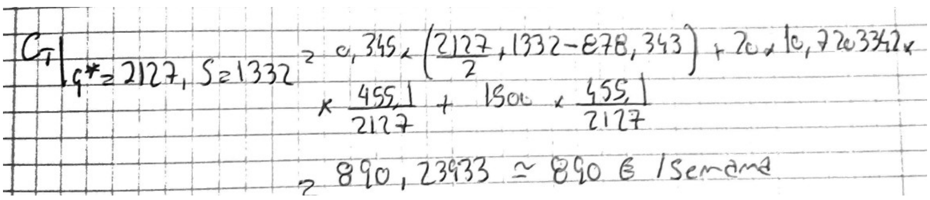


Figure 9: Cálculo do Custo da nossa Política de Nível de Encomenda

Então, tendo tudo isto em conta, podemos estimar a diferença entre os dois custos, 947 - 890 = 56€/semana, o que implica que, se a empresa tivesse tido em conta parâmetros mais racionais na sua política de gestão, poderia ter poupado, aproximadamente, 57€ por semana, ou seja, 2850€ por ano em custos.

Nota: Foi criado um script relativo à questão 1 que permite confirmar os cálculos realizados analiticamente, o qual pode ser consultado nos anexos.

2.2 Questão 2

Estime analiticamente os valores dos parâmetros da politica (s,S) para o ano em curso (2021) Considere, para a média dos valores da procura semanal, uma estimativa que consiste na extrapolação do valor segundo a regressão linear dos valores médios homólogos verificados nos últimos anos.

Começamos por apresentar o resultado da regressão linear dos valores médios homólogos verificados nos últimos anos, fazendo uso dos gráficos de dispersão existentes no Excel, e representando depois a linha de tendência dos mesmos, de forma linear, e apresentando a equação da reta. Para tal usamos como variáveis X, [1,2,3], e como variáveis Y, [Média2018,Média2019,Média2020]. Isto permite-nos depois, simplesmente substituir na reta da equação X por 4 de forma a obter o valor correspondente à média de 2021.

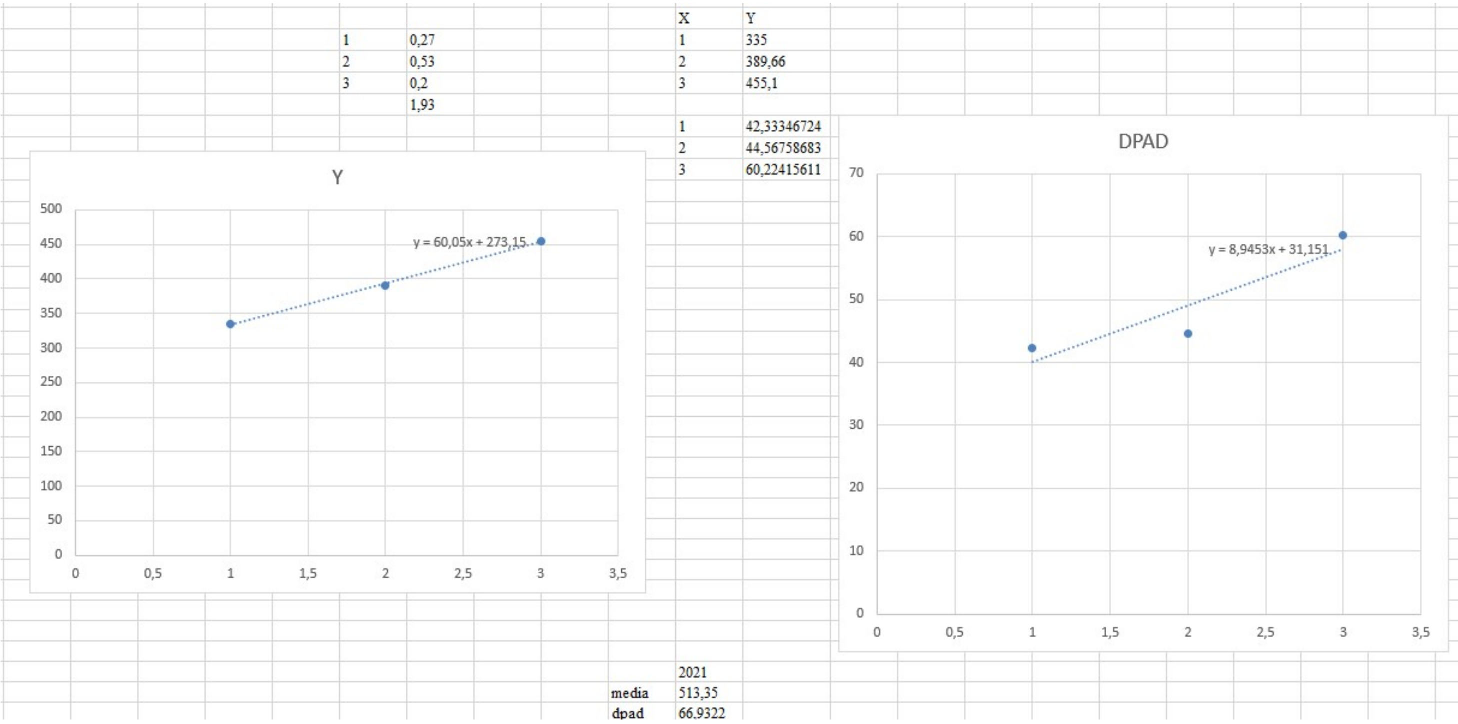


Figure 10: Regressão Linear

Desta forma podemos inferir que a nossa procura para 2021 seguirá uma distribuição N((513.35 , 66.9322).

Como referido no enunciado, *"...o Sr.Gervásio pretende que não haja, em média, mais do que uma situação de quebra de stock por cada dois anos."*, logo deveremos calcular o risco de quebra nestas condições, o que nos permitirá, através da tabela Normal, averiguar o fator de segurança que, consequentemente, permitirá calcular o nível de referência e o nível de encomenda para as condições especificadas.

É necessário ter também em conta que *"Por recomendação de um consultor a quem recorreu, a empresa pretende agora adotar uma política de gestão de inventário do tipo (s,S) com um ciclo de 4 semanas."*, o que significa que t* = 4. Precisamos também de averiguar a média e o desvio padrão da procura durante o período de planeamento.

Desta forma, temos que:

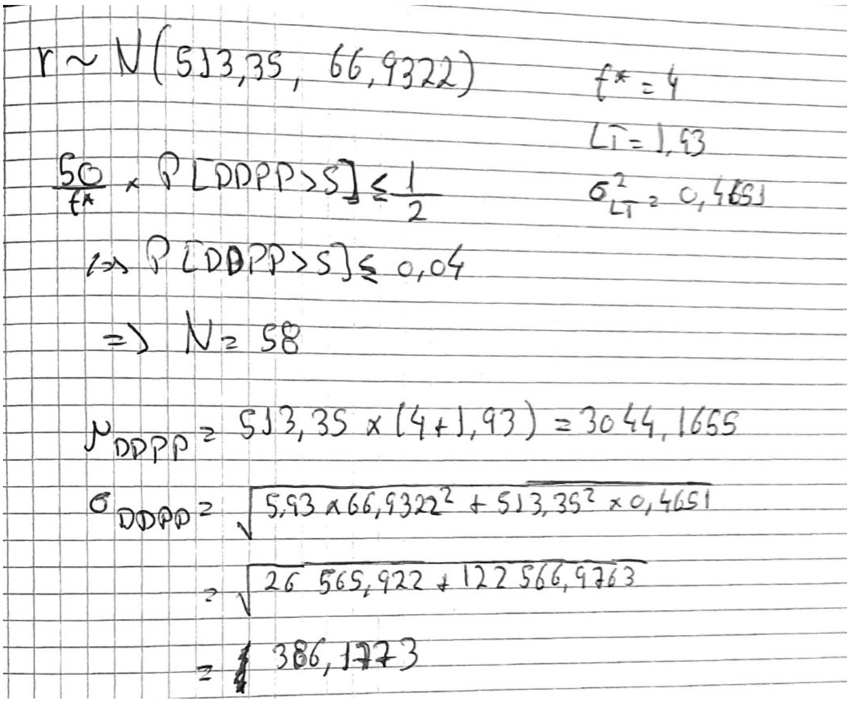


Figure 11: Cálculo da Média e Desvio Padrão da Procura durante o Período de Planeamento

Tendo já as informações necessárias para o cálculo do nível de referência S, podemos então passar a esse processo e ,posteriormente, ao cálculo de s, o nível a partir do qual devemos encomendar.

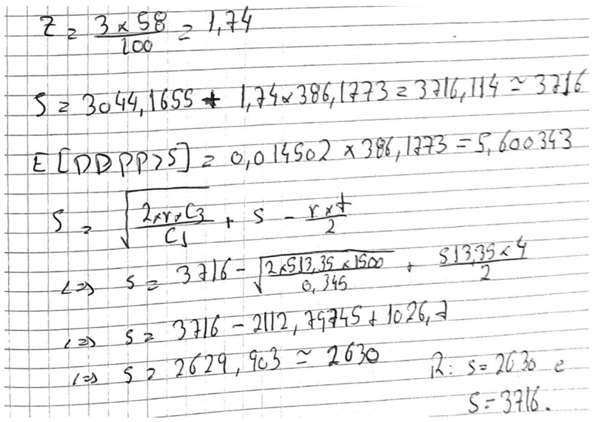


Figure 12: Cálculo de S e s

Podemos então concluir que, de forma a podermos usufruir de uma política (s,S) com um ciclo de 4 semanas de forma a que não haja mais do que uma situação de quebra de stock por cada dois anos, os níveis de referência e de encomenda a ter em consideração deverão ser S=3716 e s=2630, ou seja, deveremos manter um stock de, aproximadamente 3716 sacos de café, e deveremos encomendar sempre que o stock for inferior a 2630.

Nota: Foi criado um script relativo à questão 2 que permite confirmar os cálculos realizados analiticamente, o qual pode ser consultado nos anexos.

2.3 Questão 3

Utilizando uma folha de cálculo ou uma linguagem de programação, implemente um modelo de simulação do funcionamento do sistema de gestão pretendido (para 2021). Inclua, na sua folha ou programa, o cálculo das medidas de desempenho que achar adequadas para realizar as análises estatísticas subsequentes. Por exemplo, será adequado estimar o stock médio, as quebras, os custos, etc., para inferir a eficácia e a eficiência relativa das diversas instâncias numéricas da política de gestão a simular. Simule o funcionamento do sistema para conjuntos alternativos dos valores dos parâmetros s e S, faça uma análise comparativa dos respetivos desempenhos, e sugira o conjunto ou conjuntos de valores (s,S) mais recomendados para implementar, indicando claramente ao Sr.Gervásio como deve proceder.

Para melhor entender o processo por detrás da simulação é preciso estabelecer primeiramente algumas ideias base utilizadas no mesmo.

Serão gerados valores de procura aleatórios para cada semana, fazendo uso da biblioteca *numpy* do Python. Também, para o prazo de entrega atribuído a uma encomenda, o mesmo será gerado de forma aleatória tendo em consideração as probabilidades p1, p2 e p3 previamente calculadas, usando a biblioteca *random*.

Nesta simulação será apresentado para cada semana:

- Stock Atual (no início da semana)
- Procura Semanal
- Stock Final (no fim da semana)
- Quantidade a Encomendar
- Prazo de Entrega
- Custo de Quebra dessa semana
- Custo de Encomenda dessa semana
- Custo de Posse desse semana

Assim sendo, foi elaborado um script em Python, que se encontra anexado ao relatório, que permite a qualquer utilizador, introduzindo um nível de referência S e um nível de encomenda s, obter uma folha Excel com os valores acima mencionados.

Para além disso, é ainda possível consultar algumas das constantes utilizadas nos cálculos tais com o S e s introduzidos, C1, C2 e C3 relativos ao enunciado, a média e o desvio padrão calculados previamente na Q2 que dão uso às procuras semanais aleatórias geradas e ainda o custo médio semanal da simulação, bem como o custo total anual.

A simulação da política de gestão (s,S) consiste basicamente em, a cada 4 semanas, ciclo estipulado pela empresa, verificar se o stock em mão, é inferior a s, nível estipulado a partir do qual deve ser realizada uma encomenda.

Caso se verifique essa necessidade, é então gerado um prazo de entrega aleatório e após esse prazo, é acrescentado ao stock uma quantidade previamente calculada, correspondente a S - stock_final.

No final do prazo de entrega é então acrescentada a quantidade encomendada ao stock em mão, e para essa semana é acrescido o custo de encomenda, 1500 euros.

Para o cálculo do custo de posse, é usado o nível médio de inventário e o custo de existência.

É verificada a existência de quebras no stock, caso o stock no final da semana seja inferior a 0, e para essa semana é então calculado o custo de quebra equivalente a C2 x (-stock_final) , uma vez que o mesmo é negativo.

Durante a simulação são guardados todos estes dados para cada semana, para no final poderem ser gravados num Excel.

Para melhor averiguar diferentes cenários é aconselhável alterar o nome do Excel para o qual pretendemos escrever, com uma legendagem ilustrativa da alteração que foi feita aos valores de s e S.

Como exemplo, que passarei de seguida a apresentar e discutir os valores obtidos, temos os ficheiros "outputValoresQ2", "outputsPlus5S", "outputsMinus5S", "outputsSplus5" e "outputsS-minus5".

Estando já as bases da simulação estabelecidas e explicadas, passaremos agora à discussão e análise dos diferentes resultados obtidos com as simulações que albergavam diferentes valores quer para S, quer para s. Como termo de comparação usaremos os valores dos custos totais anuais e os valores dos custos médios semanais.

A primeira simulação realizada foi com vista a avaliar os valores previamente obtidos na questão 2 para uma política de gestão (s,S), com S = 3716 e s=2630. Assim estes foram os valores finais obtidos:

S	s	C1	C2	C3	Custo Total Anual	Custo Médio Semanal	r	Desvio Padrão r
3716	2630	0,345	20	1500	46597,8107	931,9562141	513,35	66,9322

Figure 13: Simulação com os valores obtidos na Questão 2

Como referido anteriormente, foram realizadas outras simulações com alteração nos parâmetros de S e s, neste caso fizemos variar s em +5% e -5% para um mesmo S, e posteriormente S em +5% e -5% para um mesmo s.

Os resultados obtidos podem ser observados de seguida:

S	s	C1	C2	C3	Custo Total Anual	Custo Médio Semanal	r	Desvio Padrão r
3716	2762	0,345	20	1500	49825,80359	996,5160718	513,35	66,9322

Figure 14: Simulação com s+5%

S	s	C1	C2	C3	Custo Total Anual	Custo Médio Semanal	r	Desvio Padrão r
3716	2499	0,345	20	1500	48534,64256	970,6928512	513,35	66,9322

Figure 15: Simulação com s-5%

S	s	C1	C2	C3	Custo Total Anual	Custo Médio Semanal	r	Desvio Padrão r
3902	2630	0,345	20	1500	49183,4408	983,668816	513,35	66,9322

Figure 16: Simulação com S+5%

S	s	C1	C2	C3	Custo Total Anual	Custo Médio Semanal	r	Desvio Padrão r
3530	2630	0,345	20	1500	52352,05216	1047,041043	513,35	66,9322

Figure 17: Simulação com S-5%

Nesta simulações foram observadas duas situações de quebra, uma no caso em que diminuímos S em 5% e outra no caso em que diminuímos s em 5%.

47	397,7042641	433,609	-35,9046986	0	0	718,093972	1500	638,2232529

Figure 18: Quebra verificada na simulação com s-5%

23	249,3430703	562,5623593	-313,219289	0	0	6264,385779	1500	540,510252

Figure 19: Quebra verificada na simulação com S-5%

Com a observação dos resultados obtidos podemos então concluir que a melhor política de gestão (s,S) a ser introduzida será efetivamente aquela que obtivemos com os resultados da questão 2, S=3716 e s=2630, uma vez que permite reduzir os custos mantendo o nível de eficiência desejado pela empresa.

3 Conclusão

Com a conclusão deste trabalho o grupo considera que foi capaz de responder correctamente às questões propostas no enunciado. Podemos assim inferir que a realização deste trabalho foi bastante importante no sentido em que nos permitiu reforçar alguns conhecimentos relativos à temática abordada nas aulas, nos enriqueceu bastante dos processos para uma melhor gestão de stocks a nível empresarial e nos ofereceu uma ferramenta pronta para ser utilizada num futuro próximo, como por exemplo, uma eventual start-up.

4 Anexos

4.1 Tabela de Dados

ANEXO: Tabela de dados

Grupo de Trabalho 1 MIEI-MEIO 2020/21

VALORES DA PROCURA (EMPRESA Café&Afins)

		ANOS	
Semana	**2018**	**2019**	**2020**
1	292	342	426
2	355	370	407
3	321	338	450
4	300	358	414
5	290	377	429
6	311	355	417
7	326	357	427
8	295	378	408
9	306	330	404
10	330	343	383
11	289	370	425
12	290	314	386
13	299	351	397
14	291	341	383
15	302	332	376
16	320	379	391
17	303	358	384
18	272	341	393
19	330	359	402
20	286	367	400
21	303	379	391
22	279	360	435
23	289	351	401
24	291	361	398
25	380	439	538
26	368	449	548
27	372	437	498
28	345	419	555
29	363	442	497
30	403	401	499
31	383	474	539
32	350	447	473
33	370	431	516
34	410	427	506
35	389	413	495
36	387	446	526
37	355	440	514
38	355	442	516
39	376	463	534
40	407	435	504
41	393	424	534
42	401	431	540
43	362	418	524
44	371	418	528
45	354	441	537
46	407	449	483
47	283	346	434
48	292	339	374
49	303	327	420
50	301	374	396

Obs. P.f., anexe estes dados no relatório

Figure 20: Dados para a Resolução

4.2 Script Questão 3

```
import random
import numpy as np
import pandas as pd

# Inicializacao pandas

writer = pd.ExcelWriter(r'outputsSminus5.xlsx', engine='xlsxwriter')


# Variaveis fixas
mu = 513.35
sigma = 66.9322
C1 = 0.345
C2 = 20
C3 = 1500
T = 4
prazos = [1,2,3]
probabilidades = [0.27,0.53,0.2]
t = -1

# Lista com procuras semanais aleatorias
procura = np.random.normal(mu,sigma,50)

# Parametros de teste
S = int(input('Indique o valor de S: '))
s = int(input('Indique o valor de s: '))


# Inicializar stock inicial
stock_atual = S

custos_semanais = []
stocks_atuais = []
stocks_finais = []
prazos_entrega = []
custos_quebra_semanal = []
custos_posse_semanal = []
custos_encomenda_semanal = []
quantidades_a_encomendar = []


for semana in range(50):
    custo_semanal = 0
    custo_quebra = 0
    custo_encomenda = 0

    stocks_atuais.append(stock_atual)

    p = procura[semana]

    stock_final = stock_atual - p

```

```
    stocks_finais.append(stock_final)

    stock_atual = stock_final

    if T==0:
        pass
    else:
        T-=1

    if stock_final<0:
        custo_quebra = C2*(-stock_final)
        custo_semanal += custo_quebra

    custos_quebra_semanal.append(custo_quebra)


    if T==0 and stock_atual < s:

        t = random.choices(prazos,probabilidades)[0]
        prazos_entrega.append(t)

        q = S - stock_final
        quantidades_a_encomendar.append(q)

        T=4
    else:
        quantidades_a_encomendar.append(0)


    if t==0:
        stock_atual = stock_final + q
        custo_encomenda = 1500
        t = -1
    elif t == -1:
        prazos_entrega.append(0)
    else:
        t -= 1
        prazos_entrega.append(t)

    custo_semanal += custo_encomenda

    custos_encomenda_semanal.append(custo_encomenda)


    if p < stock_atual:
        custo_posse = C1*(stock_atual-p/2)
    else:
        custo_posse = C1*(stock_atual/2)


    custo_semanal += custo_posse

    custos_posse_semanal.append(custo_posse)

```

```python

    custos_semanais.append(custo_semanal)


custo_anual = sum(custos_semanais)

custo_semanal_medio = custo_anual/50



data = {
    'Semana': [x+1 for x in range(50)],
    'Stock Inicial': stocks_atuais,
    'Procura': procura,
    'Stock Final': stocks_finais,
    'Encomenda': quantidades_a_encomendar,
    'Prazo de Entrega': prazos_entrega,
    'Custo de Quebra': custos_quebra_semanal,
    'Custo de Encomenda': custos_encomenda_semanal,
    'Custo de Posse': custos_posse_semanal
}

df = pd.DataFrame(data)

df.to_excel(writer, sheet_name='Sheet1',index=False)


data2 = {
    'S': [S],
    's' : [s],
    'C1' : [C1],
    'C2' : [C2],
    'C3' : [C3],
    'Custo Total Anual': [custo_anual],
    'Custo Medio Semanal': [custo_semanal_medio],
    'Media DDPP': [mu],
    'Desvio Padrao DDPP': [sigma]
}

dp = pd.DataFrame(data2)

dp.to_excel(writer, sheet_name='Sheet1',index=False,startcol=10)

writer.save()
```

Listing 1: Script de Simulação

4.3 Script Extra Questão 1

```
import math
from arredondamentos import round_half_away_from_zero as rhafz

r=float(input('Indique o valor de r: '))
DDPAD_R = float(input('Indique o DPAD de r: '))
p1 = float(input('Indique o valor de p1: '))
p2 = float(input('Indique o valor de p2: '))
p3 = float(input('Indique o valor de p3: '))
LT = 1*p1 + 2*p2 + 3*p3
print(LT)
M_DDLT = r*LT
print(M_DDLT)
C1=0.345
C2=float(input('Indique o valor de C2: '))
C3=1500
DPAD_LT_SQUARE = (1-LT)**2 * p1 + (2-LT)**2 * p2 + (3-LT)**2 * p3
print(DPAD_LT_SQUARE)
DPAD_DDLT = math.sqrt(DDPAD_R**2*LT + r**2*DPAD_LT_SQUARE)
print(DPAD_DDLT)

def q1(r,C1,C3):
    return rhafz(math.sqrt((2*r*C3)/C1))

def q2(r,C1,C2,C3,E):
    return rhafz(math.sqrt((2*r*(C2*E+C3))/C1))

def calculateS(z,M_DDLT,DPAD_DDLT):
    return rhafz(M_DDLT + z*DPAD_DDLT)

def calculateZ2(S,M_DDLT,DPAD_DDLT):
    return (S-M_DDLT)/DPAD_DDLT

def calculateZ(n):
    return (3*n)/100

def calculateE(sndInt,DPAD_DDLT):
    return sndInt * DPAD_DDLT

def calculateP(C1,C2,q,r):
    return (C1*q)/(C2*r)

def custoTotal(q,r,S,E,C1,C2,C3,M_DDLT):
    return ( C1*(q/2+S-M_DDLT) + C2*(r/q)*E + C3*(r/q) )

def calculateN(z):
    return (z*100)/3

sndIntInicial = float(input(f'Introduza o segundo integral para N {rhafz(
    calculateN(calculateZ2(1200,M_DDLT,DPAD_DDLT)))}: ' ))

inicialN=0

```

```
qInicial = q1(r,C1,C3)
P = calculateP(C1,C2,qInicial,r)
sndInt = float(input(f'Indique o valor do 2o integral correspondente ao 1o
    integral {P}: '))
inicialN = int(input(f'Indique o valor de N para o 1o integral {P}: '))
E = calculateE(sndInt,DPAD_DDLT)
N=0


while True:
    qSeguinte = q2(r,C1,C2,C3,E)
    PSeguinte = calculateP(C1,C2,qSeguinte,r)
    sndInt = float(input(f'Indique o valor do 2o integral correspondente ao 1o
    integral {PSeguinte}: '))
    inicialN = int(input(f'Indique o valor de N para o 1o integral {PSeguinte}:
    '))
    E = calculateE(sndInt,DPAD_DDLT)
    if N != inicialN:
        N = inicialN
    else:
        break

S = calculateS(calculateZ(N),M_DDLT,DPAD_DDLT)

print(f'q*: {qSeguinte}')
print(f'S : {S}')
print(f'E : {E}')
ct = custoTotal(qSeguinte,r,S,E,C1,C2,C3,M_DDLT)
print(f'Custo total: {ct}')
ci = custoTotal(1700,r,1200,calculateE(sndIntInicial,DPAD_DDLT),C1,C2,C3,M_DDLT)
print(f'Custo inicial: {ci}')
print(f'Diferen a de custos: {ci-ct}')
```

4.4 Script Extra Questão 2

```
import math
from arredondamentos import round_half_away_from_zero as rhafz

N=58
t=4
r=float(input('Indique o valor de r: '))
DDPAD_R = float(input('Indique o DPAD de r: '))
p1 = float(input('Indique o valor de p1: '))
p2 = float(input('Indique o valor de p2: '))
p3 = float(input('Indique o valor de p3: '))
LT = 1*p1 + 2*p2 + 3*p3
C1=0.345
C3=1500
DPAD_LT_SQUARE = (1-LT)**2 * p1 + (2-LT)**2 * p2 + (3-LT)**2 * p3
M_DDPP = r*(t+LT)
DPAD_DDPP = math.sqrt((t+LT)*DDPAD_R**2 + r**2*DPAD_LT_SQUARE)

def calculateZ(n):
    return (3*n)/100

Z = calculateZ(58)

def calculateS(z,M_DDPP,DPAD_DDPP):
    return rhafz(M_DDPP + z*DPAD_DDPP)

S = calculateS(Z,M_DDPP,DPAD_DDPP)

sndInt = float(input(f'Indique o valor do 2o integral correspondente ao N {N}: '
    ))

def calculateE(sndInt,DPAD_DDPP):
    return sndInt * DPAD_DDPP

E = calculateE(sndInt,DPAD_DDPP)

def calculates(S,r,C1,C3,t):
    return S - math.sqrt((2*r*C3)/C1) + (r*t)/2

s = calculates(S,r,C1,C3,t)

print(f's: {s}')
print(f'S: {S}')
print(f'E: {E}')
```

4.5 Script de Arredondamentos

```
import math

def round_half_up(n, decimals=0):
    multiplier = 10 ** decimals
    return math.floor(n*multiplier + 0.5) / multiplier

def round_half_away_from_zero(n, decimals=0):
    rounded_abs = round_half_up(abs(n), decimals)
    return int(math.copysign(rounded_abs, n))
```

4.6 Amostra dos resultados da simulação da Questão 3 com os valores da Questão 2

Semana	Stock Inicial	Procura	Stock Final	Encomenda	Prazo de Entrega	Custo de Quebra	Custo de Encomenda	Custo de Posse
1	3716	452,81173	3263,188268	0	0	0	0	1047,689929
2	3263,188268	538,03375	2725,154519	0	0	0	0	847,367487
3	2725,154519	501,60081	2223,553706	0	0	0	0	680,5998884
4	2223,553706	614,89562	1608,658081	2107,341919	3	0	0	448,9175428
5	1608,658081	582,14666	1026,511417	0	2	0	0	253,7261391
6	1026,511417	493,70773	532,8036884	0	1	0	0	98,65268935
7	532,8036884	445,03806	87,76563154	0	0	0	1500	680,54304
8	2195,10755	484,13326	1710,974294	2005,025706	3	0	0	506,7731448
9	1710,974294	562,79893	1148,175367	0	2	0	0	299,0376865
10	1148,175367	470,4965	677,6788668	0	1	0	0	152,6385628
11	677,6788668	507,44424	170,2346252	0	0	0	1500	662,9306826
12	2175,260331	469,78197	1705,47836	2010,52164	2	0	0	507,3526439
13	1705,47836	524,26288	1181,215478	0	1	0	0	317,0839931
14	1181,215478	440,62049	740,5949839	0	0	0	1500	873,1282001
15	2751,116624	521,46134	2229,655282	0	0	0	0	679,2789906
16	2229,655282	532,39904	1697,256244	2018,743756	2	0	0	493,7145703
17	1697,256244	435,31005	1261,94619	0	1	0	0	360,2804511
18	1261,94619	520,35337	741,5928235	0	0	0	1500	862,5551641
19	2760,336579	575,04855	2185,288027	0	0	0	0	654,7284939
20	2185,288027	615,26556	1570,022471	2145,977529	2	0	0	435,5244441
21	1570,022471	485,19854	1084,823933	0	1	0	0	290,5675093
22	1084,823933	536,76004	548,0638979	0	0	0	1500	836,8531862
23	2694,041427	645,53906	2048,502364	0	0	0	0	595,3778274
24	2048,502364	524,45491	1524,047453	2191,952547	2	0	0	435,327899
25	1524,047453	476,9712	1047,076251	0	1	0	0	278,9637742
26	1047,076251	534,48207	512,5941803	0	0	0	1500	840,8704638
27	2704,546727	555,40226	2149,144467	0	0	0	0	645,647951
28	2149,144467	493,04611	1656,098352	2059,901648	1	0	0	486,3034769
29	1656,098352	493,31272	1162,78563	0	0	0	1500	1026,730666
30	3222,687278	553,33555	2669,351726	0	0	0	0	825,4759631
31	2669,351726	542,37669	2126,975033	0	0	0	0	640,2464067
32	2126,975033	519,45285	1607,522181	2108,477819	2	0	0	464,9895357
33	1607,522181	527,68514	1079,837046	0	1	0	0	281,5180949
34	1079,837046	590,76648	489,0705613	0	0	0	1500	794,2469725
35	2597,54838	543,22028	2054,328097	0	0	0	0	615,0376944
36	2054,328097	513,55011	1540,777982	2175,222018	2	0	0	442,9810088
37	1540,777982	586,53456	954,2434256	0	1	0	0	228,0367709
38	954,2434256	403,45866	550,7847629	0	0	0	1500	870,8757202
39	2726,006781	537,56372	2188,443061	0	0	0	0	662,2831144
40	2188,443061	486,56194	1701,881126	2014,118874	2	0	0	503,2170547
41	1701,881126	561,326	1140,555122	0	1	0	0	296,6627813
42	1140,555122	518,40175	622,1533755	0	0	0	1500	820,0896248
43	2636,272249	448,04668	2188,225565	0	0	0	0	677,6497671
44	2188,225565	516,40905	1671,816519	2044,183481	3	0	0	487,6961385
45	1671,816519	473,60889	1198,207632	0	2	0	0	331,6840999
46	1198,207632	463,78875	734,4188821	0	1	0	0	173,370955
47	734,4188821	477,95606	256,462818	0	0	0	1500	711,2755521
48	2300,646299	385,87063	1914,775669	1801,224331	1	0	0	594,034922
49	1914,775669	461,90694	1452,868724	0	0	0	1500	1042,983156
50	3254,093055	557,24296	2696,850096	0	0	0	0	834,2888726

S	s	C1	C2	C3	Custo Total Anual	Custo Médio Semanal	r	Desvio Padrão r
3716	2630	0,345	20	1500	46597,8107	931,9562141	513,35	66,9322