Universidade do Minho

2ºSemestre 2017/18

(MIEI, 3ºAno)

Modelos Estocásticos de Investigação Operacional

Trabalho Prático

Identificação do Grupo

Número:	*Nome completo:*	*Rubrica:*
A78957	Diogo Emanuel da Silva Nogueira	Diogo Nogueira
A78824	Mariana Lino Lopes Costa	Mariana Costa
A76867	Sarah Tifany Silva	Sarah Silva

Data de entrega: 2018-04-23

Índice

1. Formulação do Problema

O problema apresentado refere-se a um equipamento que semanalmente passa por um inspecionamento onde se determina o seu estado de funcionamento atual. Este estado em que o equipamento se encontra pode, efetivamente, sofrer alterações, consoante a decisão que se opte por tomar aquando da inspeção do equipamento. Apesar destas possíveis decisões, existe ainda a imposição de se efetuar uma reparação imediata ao equipamento caso este se encontre no seu estado de degradação máximo. Sabe-se ainda que a eficiência do equipamento é tanto menor quanto maior é esse mesmo estado de degradação e que varia de acordo com o mesmo, segundo uma fórmula criada para o efeito.

Perante a análise do problema proposto, o grupo consegui também perceber que se trata de um problema com número de estágios indeterminado. Isto é algo que se deve ter em conta não só para a construção das várias redes, mas também para a determinação da finalização do cálculo da solução ótima final.

O objetivo deste problema passa então por averiguar que decisão se deve tomar no início de cada estágio e para cada um dos estados de degradação em que a máquina se pode encontrar.

É com base nestas informações e com um pensamento focado no problema em si que existiu a necessidade de apurar as informações que abaixo iremos abordar para se poder iniciar a resolução do problema com outra organização e método.

1.1. Estágios

No problema em questão, os estágios correspondem ao **início de cada semana**, existindo 5 dias em cada uma delas. Assim, o início de cada semana e o início da próxima representam a transição de estágios e o renovar de uma nova inspeção em que é determinado o novo estado do equipamento e consequentemente qual a decisão a se tomar para o mesmo.

1.2. Estados

Perante a constatação de que o equipamento se vai deteriorando ao longo do tempo pode-se concluir que o mesmo se pode encontrar num dos seguintes estados i em que **i = 1, 2, 3, 4, 5 ou 6**:

- O estado 1 é o melhor estado de degradação;
- O estão 6 é o estado máximo de degradação.

1.3. Decisões

No início de cada semana e após o inspecionamento do equipamento, é tomada uma decisão:

- Efetuar uma Manutenção do Tipo 1;
- Efetuar uma Manutenção do Tipo 2;
- Não efetuar qualquer Manutenção;

É imperativo ter em mente que independentemente da decisão que se opte por tomar, caso o equipamento se encontre no seu estado de degradação máximo, é obrigatório efetuar de imediato uma reparação ao equipamento.

1.4. Objetivo

O objetivo do problema é **minimizar a fração de tempo não produtivo do equipamento**, quer devido às paragens para manutenção e reparação, quer devido a ineficiência do funcionário.

2. Descrição e Resolução do Problema

Após a formulação do problema onde se deixou definido as informações essenciais para se ingressar nesta fase do trabalho, estamos mais do que prontos para começar a esboçar a resolução do problema. Para isto, o grupo teve sempre em mente a elaboração de uma folha de cálculo *Excel*, não só por ser mais fácil de trabalhar e manipular valores, mas também por ser mais intuitiva de perceber e justificar

Tratando-se de um problema com um número de estágios indeterminado e com definidos num ciclo semanal, vamos realizar e analisar as iterações semana a semana.

Para uma melhor compreensão de toda a resolução do problema, o grupo decidiu separar as várias decisões e em cada uma delas abordar a matriz de transição, matriz de contribuição e ainda o respetivo diagrama/rede.

2.1. Manutenção Tipo 1 e Reparação

Nesta secção consideramos que é sempre tomada a decisão de se efetuar uma Manutenção do Tipo 1 ao equipamento e por obrigação uma Reparação caso o meso se encontre completamente deteriorado.

Conforme ficou definido ser feito, vamos determinar as probabilidades em que é possível ocorrer a decisão em causa, através da matriz P_n^k e após isso determinar as contribuições associadas às mesmas, através da matriz R_n^k.

2.1.1. Matriz de Transição P_n^k

A matriz transição representa a matriz com as probabilidades de transição dos estados i para o i+1, entre o conjunto de estados {1,2,3,4,5,6}.

Nesta decisão:

- Um equipamento que se encontre no estado i é reposto, passando para o estado i – 1 ou i – 2 com probabilidades 0.6 e 0.4, respetivamente. Assim sendo, um equipamento que se encontre no estado 2, altera o seu estado para i=1. Um que se encontre no estado 3 pode alterar o seu estado para i=1 ou i=2, e assim sucessivamente.
- Para além da reposição destes estados que passam por uma Manutenção do Tipo 1, existe ainda a obrigatoriedade de um equipamento no estado i=6 ser reparado, passando para o estado i=1.

	P(n,k)					
Estados	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	0.4	0.6	0	0	0	0
4	0	0.4	0.6	0	0	0
5	0	0	0.4	0.6	0	0
6	1	0	0	0	0	0

2.1.2. Matriz de Contribuição R_n^k

A matriz de contribuição representa a matriz com os tempos totais de transição do estado i para o estado i+1, para todos os estados possíveis, isto é, o conjunto {1,2,3,4,5,6}.

Assim, o cálculo das contribuições para cada transição de estado (C_{ij}) foi realizado com base na seguinte fórmula:

$$C_{ij} = (\text{ineficiência})_{ij} * (\text{tempo produtivo}) + (\text{tempo não produtivo})$$

- **Dos estados 1,2,3,4 e 5 para o estado 1:** demorando esta manutenção meio dia a ser efetuada, o tempo produtivo do equipamento é igual a 4.5 e tempo não produtivo igual a 0.5 (em dias). Assim, a fórmula passa ser:

$$C_{ij} = \frac{e^k}{240} * 4.5 + 0.5$$

Em que o k corresponde à média aritmética dos valores dos estados no inicio de uma semana e no inicio da semana seguinte.

- **Do estado 6 para o estado 1:** por se tratar de uma reparação e por existir uma dualidade em termos de termos de tempo de serviço é necessário se efetuar uma média de tempo que esta reparação demora a ser efetuada. Assim, a fórmula sofre uma ligeira alteração:

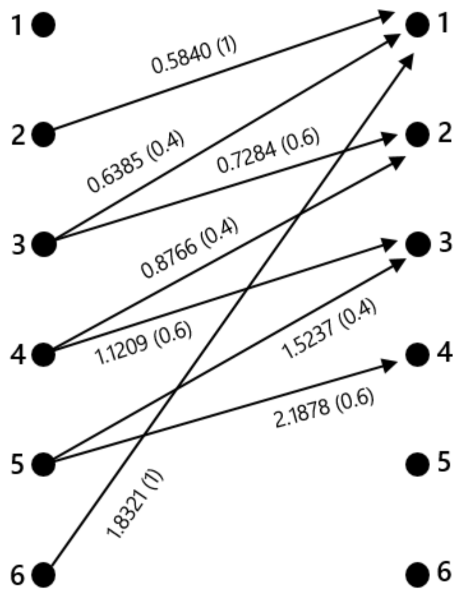
$$C_{61} = (\text{ineficiência})_{61} * (\text{tempo produtivo}) + (R_1 * p_1 + R_2 * p_2)$$

Em que R_1 corresponde à primeira possibilidade de tempo de serviço e p_1 a respetiva probabilidade. R2 corresponde então à segunda possibilidade de tempo de serviço e p_2 a respetiva probabilidade. Assim, a fórmula passa ser:

$$C_{61} = \frac{e^{3.5}}{240} * (3.675) + (1*0.35 + 1.5*0.65).$$

	R(n,k)					
Estados	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0.5840	0	0	0	0	0
3	0.0.6385	0.7284	0	0	0	0
4	0	0.8766	1.1209	0	0	0
5	0	0	1.5237	2.1878	0	0
6	1.8321	0	0	0	0	0

2.1.3. Diagrama



2.2. Manutenção Tipo 2 e Reparação

Nesta decisão consideramos é sempre tomada a decisão e se efetuar uma Manutenção do Tipo 2 e também por imposição uma reparação de um equipamento que se encontre no estado máximo de degradação.

2.2.1. Matriz de Transição P_n^k

A matriz de transição da decisão de efetuar uma Manutenção do Tipo 2 **é elaborada com base no seguinte princípio:**

- Um equipamento no estado i (i > 1) é resposto no estado i=1, como se estivesse novo. Assim, um equipamento que se encontre no estado 2, 3, 4 ou 5 após sofrer este tipo de manutenção, passa a estar no estado i=1.
- Um equipamento no estado i = 6, passa pela tal reparação obrigatória, sendo reposto também no estado i = 1.

	P(n,k)					
Estados	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0

2.2.2. Matriz de Contribuição R_n^k

O cálculo das contribuições para cada transição de estado (C_{ij}) foi realizado usando a mesma fórmula da decisão anterior. A única diferença incide no facto de uma Manutenção do Tipo 2 demorar 1 dia a ser efetivamente realizada.

- **Dos estados 1,2,3,4 e 5 para o estado 1:** demorando esta manutenção um dia a ser efetuada, o tempo produtivo do equipamento é igual a 4 e tempo não produtivo igual a 1 (em dias). Assim, a fórmula passa ser:

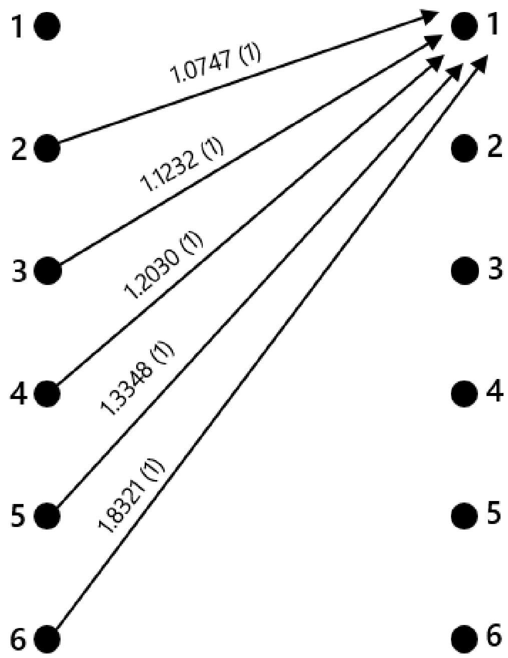
$$C_{ij} = \frac{e^k}{240} * 4 + 1$$

- **Do estado 6 para o estado 1:** segue exatamente o mesmo cálculo da decisão anterior:

$$C_{61} = \frac{e^{3.5}}{240} * (3.675) + (1*0.35 + 1.5*0.65)$$

	R(n,k)					
Estados	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	1.0747	0	0	0	0	0
3	1.1232	0	0	0	0	0
4	1.2030	0	0	0	0	0
5	1.3348	0	0	0	0	0
6	1.8321	0	0	0	0	0

2.2.3. Diagrama



2.3. Não Reparação

Como última decisão existe a possibilidade de não se efetuar qualquer tipo de manutenção ao equipamento. Portanto, nesta secção estamos a considerar que a decisão passa sempre por não reparar o equipamento.

2.3.1. Matriz de Transição P_n^k

A matriz de transição da decisão de não se efetuar qualquer tipo de manutenção 2 **é elaborada com base no seguinte princípio:**

- No início da semana seguinte, o equipamento encontrar-se-á no estado j (j >=i) com a probabilidade atribuída na tabela abaixo.

Os valores destas probabilidades de degradação foram gerados de acordo com o número de Aluno A78957 (correspondente a um dos elementos do grupo) e tal como pedido, encontram-se comprovadas na Secção (ANEXO 1):

	P(n,k)					
Estados	1	2	3	4	5	6
1	0.65	0.3	0.05	0	0	0
2	0	0.5	0.2	0.2	0.1	0
3	0	0	0.8	0.1	0.05	0.05
4	0	0	0	0.7	0.05	0.25
5	0	0	0	0	0.45	0.55
6	1	0	0	0	0	0

2.3.2. Matriz de Contribuição R_n^k

Como estamos perante uma situação em que não existe qualquer tipo de manutenção, o calculo das contribuições vai sofrer alterações.

- **Dos estados 1,2,3,4 e 5 para os restantes estados:** não existindo tempo não produtivo então o tempo produtivo do equipamento é máximo, ou seja, os 5 dias da semana. Assim, a fórmula passa ser:

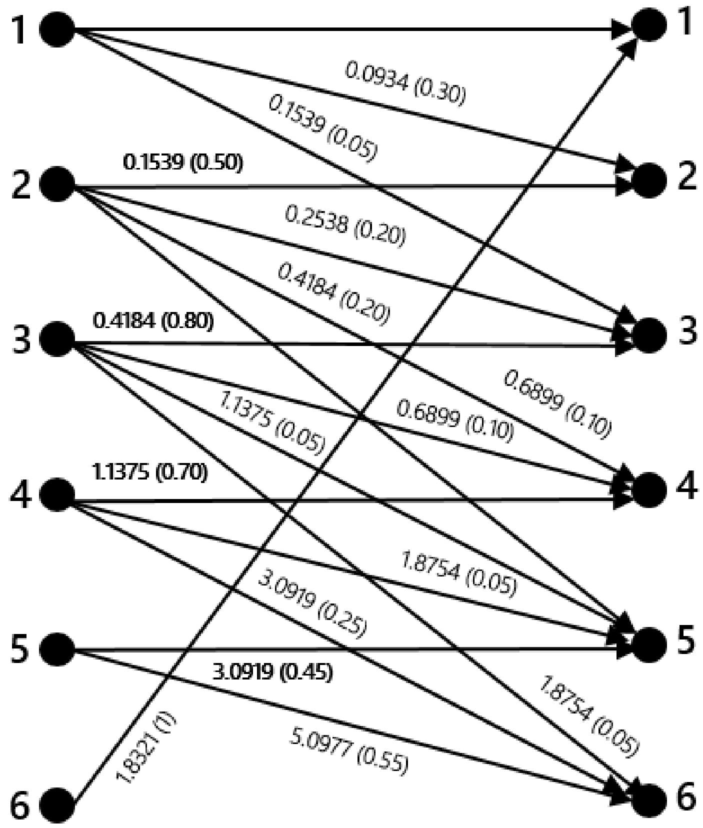
$$C_{ij} = \frac{e^k}{240} * 5$$

- **Do estado 6 para o estado 1:** segue exatamente o mesmo cálculo das decisões anteriores:

$$C_{61} = \frac{e^{3.5}}{240} * (3.675) + (1*0.35 + 1.5*0.65).$$

	R(n,k)					
Estados	1	2	3	4	5	6
1	0.0566	0.0934	0.1539	0	0	0
2	0	0.1539	0.2538	0.4184	0.6899	0
3	0	0	0.4184	0.6899	1.1375	1.8754
4	0	0	0	1.1375	1.8754	3.0919
5	0	0	0	0	3.0919	5.0977
6	1.8321	0	0	0	0	0

2.3.3. Diagrama



2.4. Cálculos Finais

A resolução do problema passou, primeiramente por calcular para cada decisão as matrizes de transição ($\boldsymbol{P_n^k}$) e de contribuição ($\boldsymbol{R_n^k}$) respetiva. **Após se ter definido estas matrizes foi apenas necessário efetuar um conjunto de cálculos para cada uma das decisões e estágios de modo a se chegar a um resultado ótimo:**

- Cálculos dos vetores das esperanças das contribuições ($\boldsymbol{Q_n^k}$), para cada decisão, utilizando a seguinte fórmula:

$$q_{i,(n)} = \sum_{j-1}^{N} p_{ij,(n)} + r_{ij,(n)}$$

- Após a obtenção deste valor, prossegue-se ao cálculo do vetor V_n^k usando a seguinte formula:

$$V_n^k = Q_n^k + P_n^k * F_{n-1}$$

- Por fim, com os três vetores V_n^k (um por cada decisão), escolhemos o valor mínimo na posição i, para todas as posições do vetor, formando assim o vetor F_n.

- O raciocínio acima é utilizado para todos os estágios. Como o número de estágios é indeterminado é necessário encontrar um número de estágios para o qual exista a solução opima. Isto consegue-se com o cálculo de D_n para cada estágio:

$$D_n = F_n - F_{n-1}$$

Quando este vetor S_n for constituído por valores todos iguais, sabemos que encontramos a solução ótima do problema em questão.

3. Síntese e Discussão dos Resultados Obtidos

Com base nos resultados obtidos, que se encontram apresentados no Anexo, as frações de tempo não produtivo do equipamento estabilizaram ao fim de 4 semanas, ou seja, no estágio 4. O valor obtido foi 0, o que significa, logicamente, que a fração de tempo não produtivo do equipamento, quer seja devido às paragens para manutenção e reparação ou à sua ineficiência de funcionamento, é nulo, ou por outras palavras inexistente.

De seguida é apresentado o plano de decisões de modo a obter o resultado supracitado anteriormente:

	Estágios (início de cada semana)			
Estados	1	2	3	4
1	Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2	Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2	Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2	Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2
2	Não reparar	Manutenção Tipo 1	Manutenção Tipo 1	Manutenção Tipo 1
3	Não reparar	Manutenção Tipo 1	Manutenção Tipo 1	Manutenção Tipo 1
4	Manutenção Tipo 1	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2
5	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2
6	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2	Manutenção Tipo 2

4. Política determinada aplicada em situações da vida real

Fazendo uma análise dos resultados obtidos com a resolução deste problema e pensando-se num cenário mais realístico conseguimos facilmente perceber que toda a política determinada se revela razoável e aplicável a uma situação real, tanto em termos positivos como negativos, uma vez que existem diversos fatores que o comprovam.

- Com o cálculo de todas as contribuições e para cada uma das decisões, chegamos à conclusão de que uma Manutenção do Tipo 2, que representa uma reparação por completo é mais dispendiosa em termos de tempo de serviço em comparação com uma Manutenção do Tipo 1,
- Sabe-se que a inatividade do equipamento é um fator determinante no que toca à eficiência do equipamento.

  Aplicada à realidade, a ineficiência do equipamento vai sofrer um aumento inevitável ao fim de semana já que é um período de pausa obrigatório de ser feito;
- Pensando numa Manutenção do Tipo 2 aplicada a uma situação real facilmente se deduz a impossibilidade de um equipamento que se encontre num estado de degradação significativo, passar de imediato para um estado que o defina novamente como novo.

5. Aplicação de Processos Markovianos no estudo de problemas reais

O artigo "Maintenance strategy selection in electric power distribution systems" vem resolver a problemática dos sistemas de distribuição de energia elétrica nas Organizações de Saúde, apresentando um modelo inovador que contribui para garantir uma melhor qualidade de serviço ao paciente e não só. De facto, é importante salientar que este aspeto relativo aos sistemas de distribuição de energia elétrica é de enorme relevância no que diz respeito às Organizações de Saúde, visto que estes sistemas têm de ser capazes de fornecer energia, por exemplo, para incubadoras de recém-nascidos, salas de operação, iluminação geral, unidades de tratamento intensivos, equipamentos de raio-X, de quimioterapia, entre muitos outros aspetos. Apesar da enorme importância que uma política de manutenção apropriada pode causar nos sistemas de distribuição esta é uma temática que ainda não foi desenvolvida em termos práticos.

Sendo assim, este modelo integra a Atratividade por Medição abordando uma Técnica de Avaliação baseada categoricamente em cadeias de Markov, permitindo obter o melhor resultado para diferentes sistemas de distribuição de energia elétrica. O resultado é uma classificação completa da combinação de políticas e ações de manutenção, escolhendo, a partir destas a melhor estratégia a aplicar nos sistemas de distribuição de energia.

Passando diretamente para a metodologia, é referido neste artigo que as cadeias de Markov têm sido aplicados a sistemas para permitir uma melhor modelação, confiabilidade e segurança nos parâmetros a serem estimados. É feito referência também em que sistemas é que se aplicou este tipo de modelo, como para determinar políticas de manutenção em unidades de fragmentação catalítica, prever o impacto de estratégias de inspeções alternativas e a deteções de vazamentos nos sistemas de tubulação entre muitos outros que mencionados.

Assim sendo, o uso de cadeias de Markov considera um conjunto discreto de estados exaustivos e mutuamente exclusivos, no qual o tempo de mudança de um estado para o outro é aleatório. Por conseguinte, a metodologia aplicada será sucintamente explicada de seguida.

Primeiramente, foi realizada a análise dos sistemas de distribuição de energia elétrica – aspetos técnicos, políticas de manutenção aplicadas atualmente, recursos necessários, entre outros. Posteriormente, encontrou-se os modos de falhas dos sistemas de distribuição de energia elétrica, envolvendo a análise de cada elemento do sistema e a sua operação, as possíveis formas pelas quais ele pode falhar e consequências. De seguida, definiu-se as possíveis estratégias de manutenção para serem aplicadas segundo o sistema em análise como uma combinação de diferentes políticas de manutenção. Foi considerado também a possibilidade de incluir melhorias no sistema como, aumento de partes, entre outros. Esta ações terão um impacto positivo na disponibilidade do sistema. Seguidamente, foi calculado as taxas de falha e reparação através de uma equação, mencionado no artigo.

Nesta etapa, sendo a mais relevante, foi determinado o gráfico de Markov. A modelação do sistema através de cadeias de Markov consiste em obter um gráfico no qual se define os estados do sistema e onde a transição entre estados é realizada devido à falha ou à reparação. Assim, considera-se dois casos: falhas catastróficas ou não catastróficas. As catastróficas causam diretamente a paragem do sistema, enquanto que as não catastróficas são devidas aos estados de degradação ou desgaste.

Assim, o modelo de Markov avalia a probabilidade de ir de um estado conhecido para outro, através das dependências entre eles, quer sejam falhas ou reparações. Logo, o objetivo passa por estudar o desenvolvimento dos sistemas e, portanto, ser capaz de prever os seus comportamentos usando modelos de Markov, considerando sistemas com m+1 estados, de tal forma que cada estado representa um nível desgaste e onde k é o número máximo de estados de desgaste permitido de forma a que o sistema possa continuar a funcionar. Por conseguinte, cada nível de desgaste é identificado pelo nº de elementos que não funcionam. **Portanto, os estados são os seguintes:**

- **Estado 0:** sistema está a trabalhar normalmente.
- **Estado 1:** um dos elementos está a falhar ou o sistema está no nível 1 de desgaste.
- Estado **2:** dois elementos estão a falhar ou o sistema está no estado de desgaste 2;
- **Estado (m-1):** (m-1) elementos estão a falhar ou o sistema está no estado (m-1) de desgaste.
- **Estado m:** todos os elementos do sistema estão a falhar ou sistema está completamente desgastado.

Por conseguinte, foi calculada a matriz de transição onde se é definida através de uma equação probabilidade condicional de transição numa cadeia de Markov homogénea em tempo continuo. Foi obtido a matriz de transição quando $t = \infty$, sendo esta designada para calcular a disponibilidade em sistemas reparáveis. Resolveu-se os sistemas de equação de tempo continuo de cadeias de Markov para sistemas reparáveis e obteve-se a disponibilidade média dos sistemas.

Assim sendo, através da utilização deste modelo que foi aplicado em diversos sistemas de Distribuição energia elétrica, referidos no artigo, escolheram-se as melhores políticas para cada sistema.

6. Anexos

6.1. Anexo 1 – Probabilidades de Degradação

ANEXO: Tabela de dados						
Aluno Nº	**78957**					
Probabilidades de transição entre estados de degradação:						
	Condição na próxima semana (j)					
Condição atual (i)	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***
1	0,65	0,3	0,05	0	0	0
2	0	0,5	0,2	0,2	0,1	0
3	0	0	0,8	0,1	0,05	0,05
4	0	0	0	0,7	0,05	0,25
5	0	0	0	0	0,45	0,55

6.2. Anexo 2 – Programa de Resolução do Problema

N	k	P (n,k)						R (n,k)						Q (n,k)	P (n,k) * F (n-1)	V (n,k)	F (n)	D (n)
0	x	x						x						x	x	x	0	x
																	0	
																	0	
																	0	
																	0	
																	0	
1	Manutenção Tipo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		1	0	0	0	0	0	0,5840	0	0	0	0	0	0,5840	0	0,5840		
		0,4	0,6	0	0	0	0	0,6385	0,7284	0	0	0	0	0,6925	0	0,6925		
		0	0,4	0,6	0	0	0,0	0	0,8766	1,1209	0	0	0	1,0232	0	1,0232		
		0	0	0,4	0,6	0,0	0,0	0	0	1,5237	2,1878	0	0	1,9222	0	1,9222		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		
	Manutenção Tipo 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	1,0747	0	0	0	0	0	1,0747	0	1,0747	0,2804	0,2804
		1	0	0	0	0	0	1,1232	0	0	0	0	0	1,1232	0	1,1232	0,5544	0,5544
		1	0	0	0	0	0	1,2030	0	0	0	0	0	1,2030	0	1,2030	1,0232	1,0232
		1	0	0	0	0	0	1,3348	0	0	0	0	0	1,3348	0	1,3348	1,3348	1,3348
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321	1,8321	1,8321
	Não Reparar	0,65	0,30	0,05	0	0	0	0,0566	0,0934	0,1539	0	0	0	0,0725	0	0,0725		
		0	0,50	0,20	0,20	0,10	0	0	0,1539	0,2538	0,4184	0,6899	0	0,2804	0	0,2804		
		0	0	0,80	0,10	0,05	0,05	0	0	0,4184	0,6899	1,1375	1,8754	0,5544	0	0,5544		
		0	0	0	0,70	0,05	0,25	0	0	0	1,1375	1,8754	3,0919	1,6630	0	1,6630		
		0	0	0	0	0,45	0,55	0	0	0	0	3,0919	5,0977	4,1951	0	4,1951		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		
2	Manutenção Tipo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		1	0	0	0	0	0	0,5840	0	0	0	0	0	0,5840	0	0,5840		
		0,4	0,6	0	0	0	0	0,6385	0,7284	0	0	0	0	0,6925	0,1682	0,8607		
		0	0,4	0,6	0	0	0,0	0	0,8766	1,1209	0	0	0	1,0232	0,4448	1,4680		
		0	0	0,4	0,6	0,0	0,0	0	0	1,5237	2,1878	0	0	1,9222	0,8357	2,7578		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		
	Manutenção Tipo 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	1,0747	0	0	0	0	0	1,074695	0	1,0747	0,5840	0,3036
		1	0	0	0	0	0	1,1232	0	0	0	0	0	1,123151	0	1,1232	0,8607	0,3063
		1	0	0	0	0	0	1,2030	0	0	0	0	0	1,203042	0	1,2030	1,2030	0,1799
		1	0	0	0	0	0	1,3348	0	0	0	0	0	1,334759	0	1,3348	1,3348	0
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,832080	0	1,8321	1,8321	0
	Não Reparar	0,65	0,30	0,05	0	0	0	0,0566	0,0934	0,1539	0	0	0	0,0725	0,1118	0,1844		
		0	0,50	0,20	0,20	0,10	0	0	0,1539	0,2538	0,4184	0,6899	0	0,2804	0,5892	0,8696		
		0	0	0,80	0,10	0,05	0,05	0	0	0,4184	0,6899	1,1375	1,8754	0,5544	0,7042	1,2586		
		0	0	0	0,70	0,05	0,25	0	0	0	1,1375	1,8754	3,0919	1,6630	1,2410	2,9040		
		0	0	0	0	0,45	0,55	0	0	0	0	3,0919	5,0977	4,1951	1,6083	5,8034		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		

N	k	P (n,k)						R (n,k)						Q (n,k)	P (n,k) * F (n-1)	V (n,k)	F (n)	D (n)
3	Manutenção Tipo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		1	0	0	0	0	0	0,5840	0	0	0	0	0	0,5840	0	0,5840		
		0,4	0,6	0	0	0	0	0,6385	0,7284	0	0	0	0	0,6925	0,3504	1,0429		
		0	0,4	0,6	0	0	0,0	0	0,8766	1,1209	0	0	0	1,0232	0,7500	1,7732		
		0	0	0,4	0,6	0,0	0,0	0	0	1,5237	2,1878	0	0	1,9222	1,0661	2,9883		
		1,0	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		
	Manutenção Tipo 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	1,0747	0	0	0	0	0	1,0747	0	1,0747	0,5840	0
		1	0	0	0	0	0	1,1232	0	0	0	0	0	1,1232	0	1,1232	1,0429	0,1822
		1	0	0	0	0	0	1,2030	0	0	0	0	0	1,2030	0	1,2030	1,2030	0
		1	0	0	0	0	0	1,3348	0	0	0	0	0	1,3348	0	1,3348	1,3348	0
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321	1,8321	0
	Não Reparar	0,65	0,30	0,05	0	0	0	0,0566	0,0934	0,1539	0	0	0	0,0725	0,2182	0,2908		
		0	0,50	0,20	0,20	0,10	0	0	0,1539	0,2538	0,4184	0,6899	0	0,2804	0,8382	1,1187		
		0	0	0,80	0,10	0,05	0,05	0	0	0,4184	0,6899	1,1375	1,8754	0,5544	0,9672	1,5216		
		0	0	0	0,70	0,05	0,25	0	0	0	1,1375	1,8754	3,0919	1,6630	1,3669	3,0299		
		0	0	0	0	0,45	0,55	0	0	0	0	3,0919	5,0977	4,1951	1,6083	5,8034		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		
4	Manutenção Tipo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		1	0	0	0	0	0	0,5840	0	0	0	0	0	0,5840	0	0,5840		
		0,4	0,6	0	0	0	0	0,6385	0,7284	0	0	0	0	0,6925	0,3504	1,0429		
		0	0,4	0,6	0	0	0,0	0	0,8766	1,1209	0	0	0	1,0232	0,8593	1,8825		
		0	0	0,4	0,6	0,0	0,0	0	0	1,5237	2,1878	0	0	1,9222	1,1390	3,0612		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		
	Manutenção Tipo 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000000	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	1,0747	0	0	0	0	0	1,074695	0	1,0747	0,5840	0
		1	0	0	0	0	0	1,1232	0	0	0	0	0	1,123151	0	1,1232	1,0429	0
		1	0	0	0	0	0	1,2030	0	0	0	0	0	1,203042	0	1,2030	1,2030	0
		1	0	0	0	0	0	1,3348	0	0	0	0	0	1,334759	0	1,3348	1,3348	0
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,832080	0	1,8321	1,8321	0
	Não Reparar	0,65	0,30	0,05	0	0	0	0,0566	0,0934	0,1539	0	0	0	0,0725	0,2274	0,2999		
		0	0,50	0,20	0,20	0,10	0	0	0,1539	0,2538	0,4184	0,6899	0	0,2804	0,8747	1,1551		
		0	0	0,80	0,10	0,05	0,05	0	0	0,4184	0,6899	1,1375	1,8754	0,5544	1,1130	1,6673		
		0	0	0	0,70	0,05	0,25	0	0	0	1,1375	1,8754	3,0919	1,6630	1,3669	3,0299		
		0	0	0	0	0,45	0,55	0	0	0	0	3,0919	5,0977	4,1951	1,6083	5,8034		
		1	0	0	0	0	0	1,8321	0	0	0	0	0	1,8321	0	1,8321		