Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente



35ETC-06575
ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE EM ETE'S CONSIDERANDO REDUNDÂNCIAS OPERACIONAIS SEGUNDO CADEIAS DE MARKOV

Bruno Fernandes de Holanda
Sabesp

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

1. Introdução

É possível estimar as condições de disponibilidade futuras com dados operacionais atuais?

- Prever a disponibilidade de processos críticos;
- Dimensionar sistemas redundantes para equilibrar custos, risco e desempenho.

Análise de disponibilidade

- Sistemas críticos;
- Operação com redundâncias;
- Modelo de Markov como ferramenta.

2.1 Estações de Tratamento de Esgoto

As ETE’s decompõem matéria orgânica presente nos esgotos, através de processos físicos, químicos e/ou biológicos, em período reduzido, para devolução ao corpos hídricos em condições adequadas.



2.2 Análise RAM

•Disponibilidade:

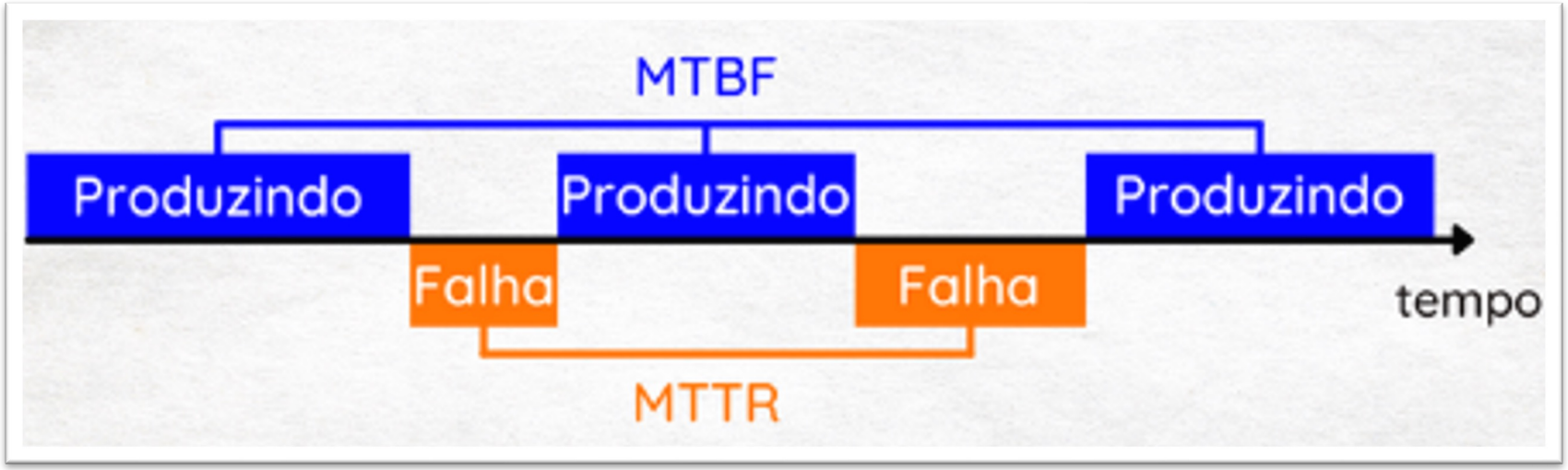
“Medida do grau que um item estará em estado operacional e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo.” (ABNT NBR 5462, 1994)

•Confiabilidade

“Capacidade de um item desempenhar uma função especificada, sob condições e intervalo de tempo pré-determinado.” (ABNT NBR 5462, 1994)

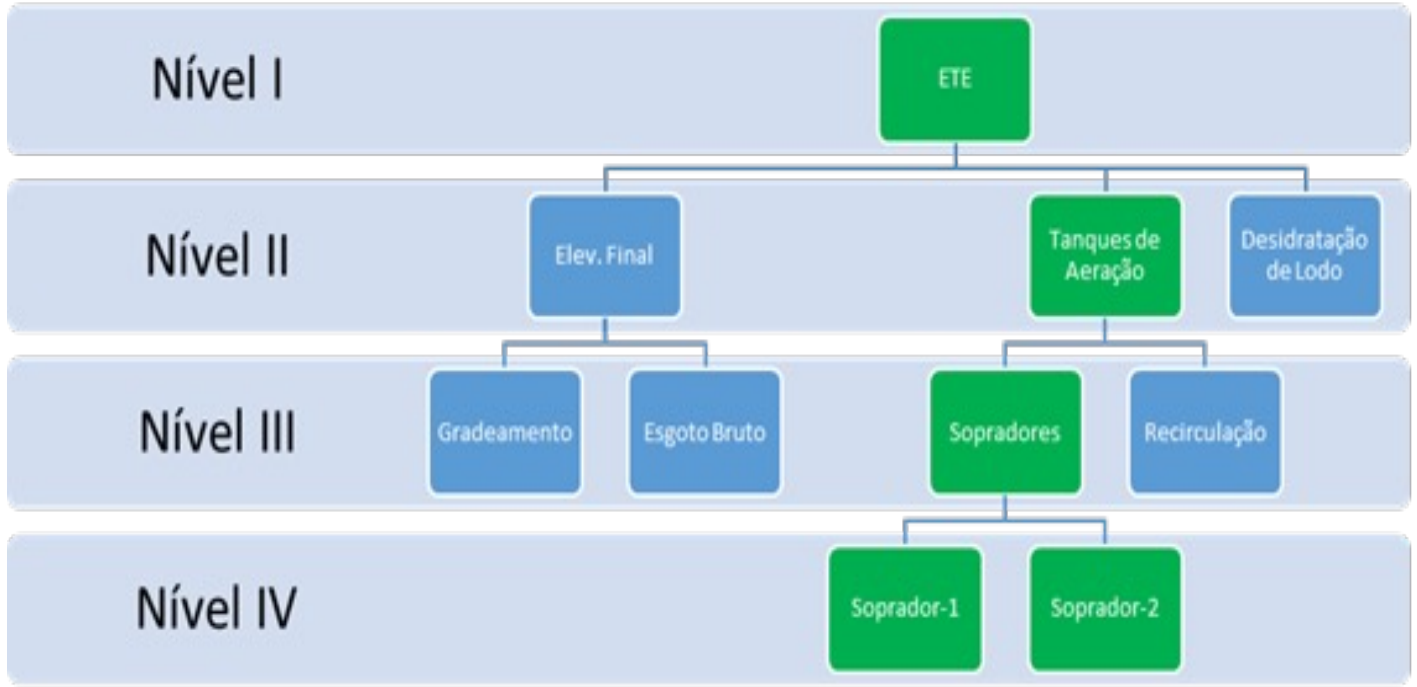
•Mantenabilidade

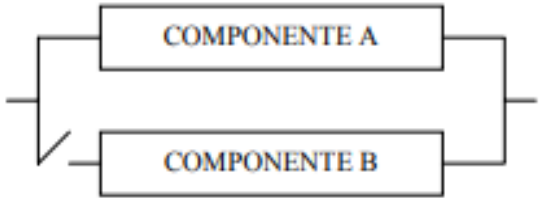
“Capacidade da mão de obra disponível em atender as demandas relacionadas à manutenção.” Gurski (2002)

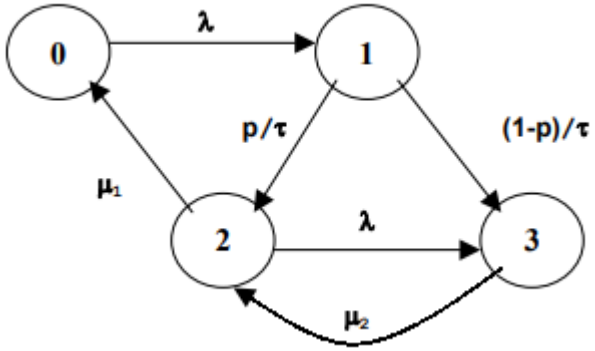


2.3 Sistemas Redundantes

Sistemas que representem riscos ao processo por indisponibilidade operam com redundâncias.

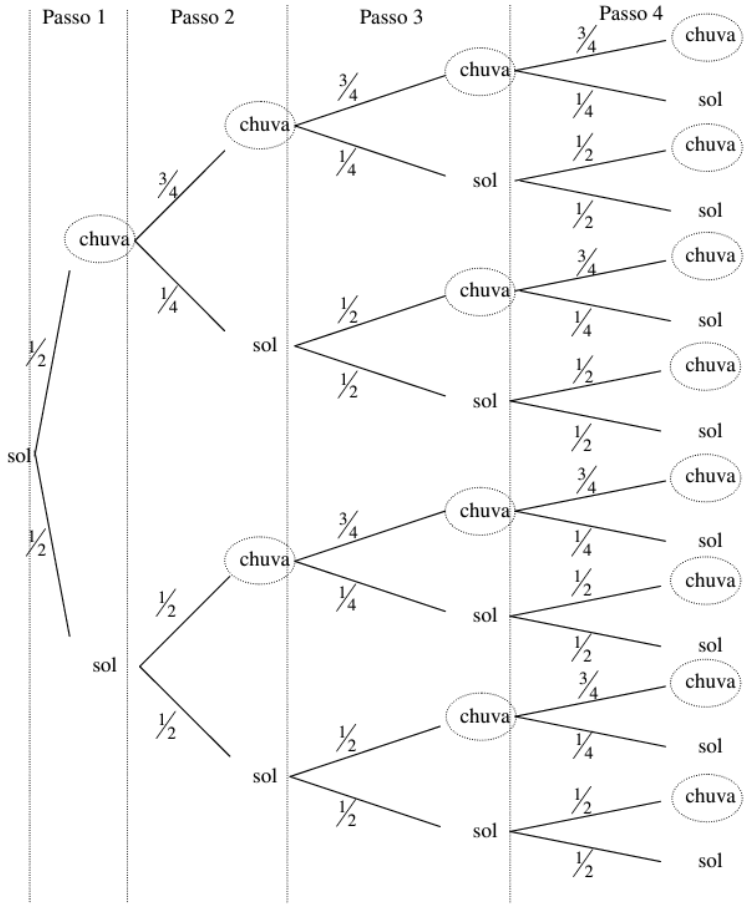




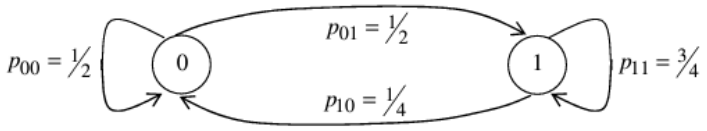


2.4 Cadeias de Markov

Processo estocástico , onde: Seja S={s1,s2,…,sn} um conjunto de estados. O processo começa em um desses estados, transitando entre eles sucessivamente e aleatoriamente sem depender dos passos anteriores.



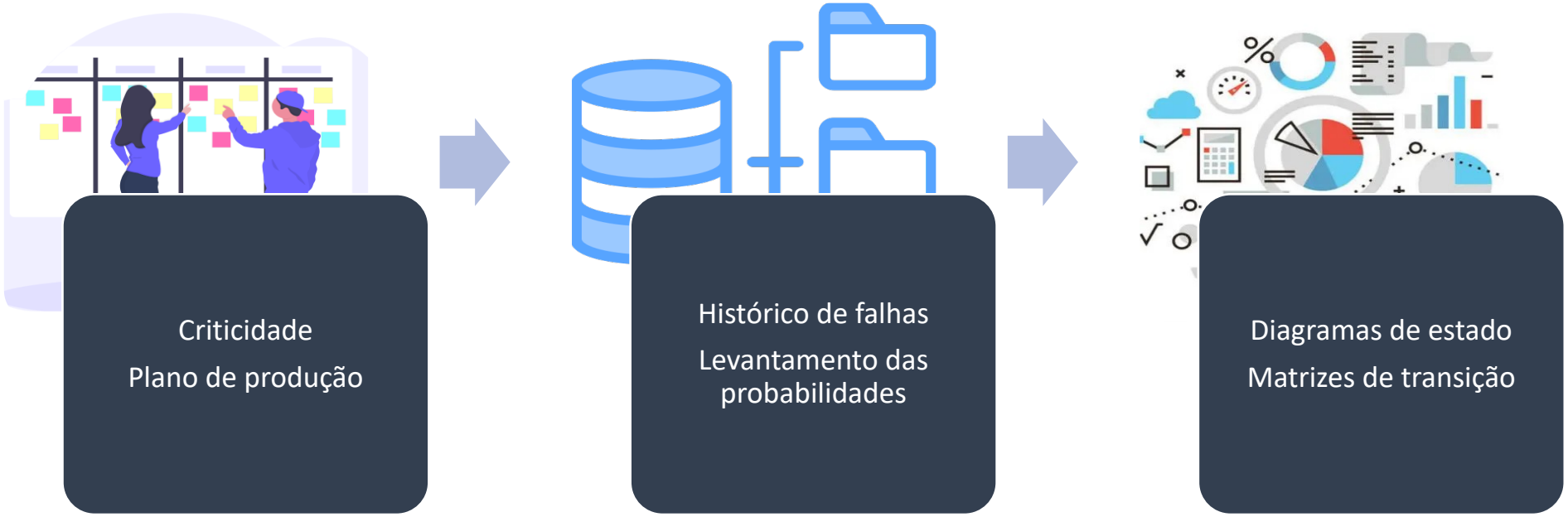
Produtos de probabilidades de transição	Probabilidades parciais
$p_{00}p_{00}p_{00}p_{01} = \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$	$\frac{1}{16}$
$p_{00}p_{00}p_{01}p_{11} = \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{3}{4}$	$\frac{3}{32}$
$p_{00}p_{01}p_{10}p_{01} = \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{4}\frac{1}{2}$	$\frac{1}{32}$
$p_{00}p_{01}p_{11}p_{11} = \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$	$\frac{9}{64}$
$p_{01}p_{10}p_{00}p_{01} = \frac{1}{2}\frac{1}{4}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$	$\frac{1}{32}$
$p_{01}p_{10}p_{01}p_{11} = \frac{1}{2}\frac{1}{4}\frac{1}{2}\frac{3}{4}$	$\frac{3}{64}$
$p_{01}p_{11}p_{10}p_{01} = \frac{1}{2}\frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{2}$	$\frac{3}{64}$
$p_{01}p_{11}p_{11}p_{11} = \frac{1}{2}\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$	$\frac{27}{128}$
Probabilidade total (probabilidade do estado 1 em quatro passos)	$\frac{85}{128} \approx 0{,}664$



$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix} \rightarrow P = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix}.$$

3. Metodologia

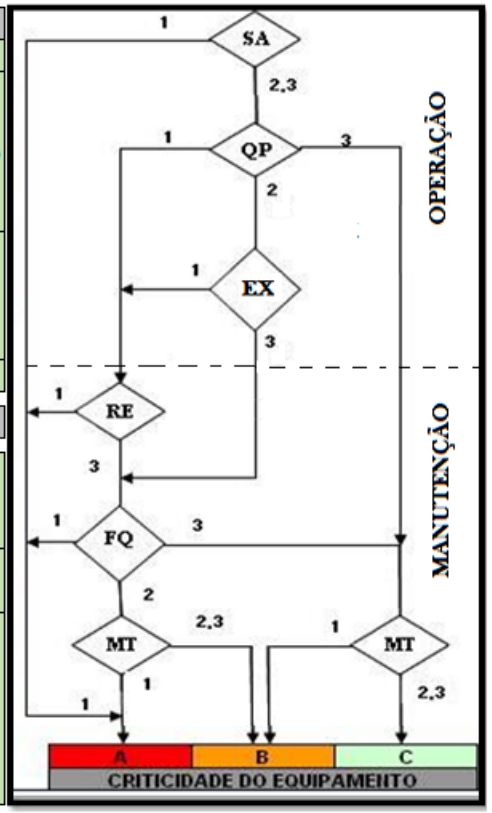
- 3.1.Seleção dos sistemas analisados.
- 3.2.Levantamento de dados.
- 3.3.Aplicação no modelo.



3.1 Seleção dos Sistemas

Selecionados sistemas que possuem redundância e criticidade “A” e dimensionada disponibilidade mínima de acordo com plano de produção.

O EFEITO DA FALHA DO EQUIPAMENTO: Operação				
		ALTA (1)	MÉDIA (2)	BAIXA (3)
SA	Segurança e meio ambiente	Risco real de Provocar acientes pessoais, agressões ao meio ambiente ou danos materiais próprios ou de terceiros	Risco pequeno ou médio de Provocar exposição a riscos de acidentes ao meio-ambiente ou ao patrimônio próprio ou de terceiros.	Não apresenta nenhum risco
QP	Qualidade e Produtividade	Afeta a qualidade (parâmetros de legislação/contrato) ou a quantidade (vazão esgoto ou água de reúso via rede)	Afeta os processo intermediários internos (ex: Produção de gás/Lodo)	Não afeta
EX	Extravasão	Provoca extravasão imediata	Pode causar extravasão	Não provoca extravasão
O EQUIPAMENTO ANALISADO: Manutenção				
RE	Redundância	Não possui equipamento reserva ou sistema opcional	-	Possui equipamento reserva ou sistema opcional
FQ	Frequencia de quebra	Apresenta quebra no intervalo de 0 a 3 meses	Apresenta quebra no intervalo de 3 meses a 1 ano	Apresenta quebra no intervalo de 1 ano ou mais
MT	Mantenabilidade	Possui tempo de reparo superior a 90 dias e/ou custo de reparo superior a R$ 100.000,00, e/ou maior/igual a 70% do valor de um equipamento novo.	Possui tempo de reparo na faixa de 30 a 90 dias e/ou custo de reparo na faixa de R$ 50.000 a R$ 99.999,00, e/ou 50% do valor de um equipamento novo	Possui tempo de reparo inferior a 30 dias e/ou custo do reparo inferior a R$ 49.999,00, e/ou 30% do valor de um equipamento novo



3.1 Seleção dos Sistemas

- Instalação: Elevatória Final - Bombeamento de Esgoto Bruto.
- Função: Bombeamento de esgoto da rede coletora para o processo de tratamento.
- Capacidade requerida: 1500 L/s
- Regime operacional: 3 conjuntos moto-bomba operando individualmente, sendo as capacidades:
  - Bombas 1 e 2: 1800 L/s
  - Bomba 3: 1000 L/s.



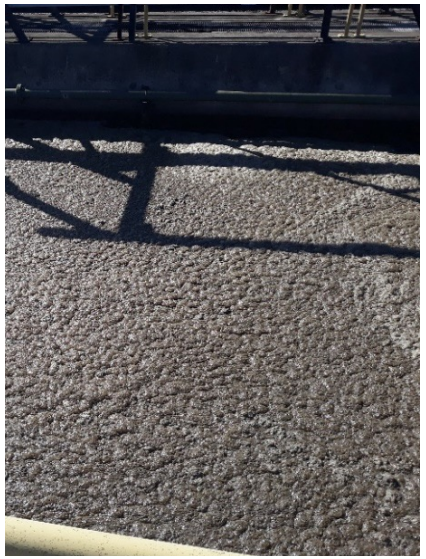


3.1 Seleção dos Sistemas

- Instalação: Tanques de Aeração - Sopradores.
- Função: Remoção de matéria orgânica via processo aeróbio.
- Capacidade requerida: 20000 Nm^3/h.
- Regime operacional: 2 sopradores centrífugos operando individualmente com capacidade de 35000Nm^3/h cada.







3.1 Seleção dos Sistemas

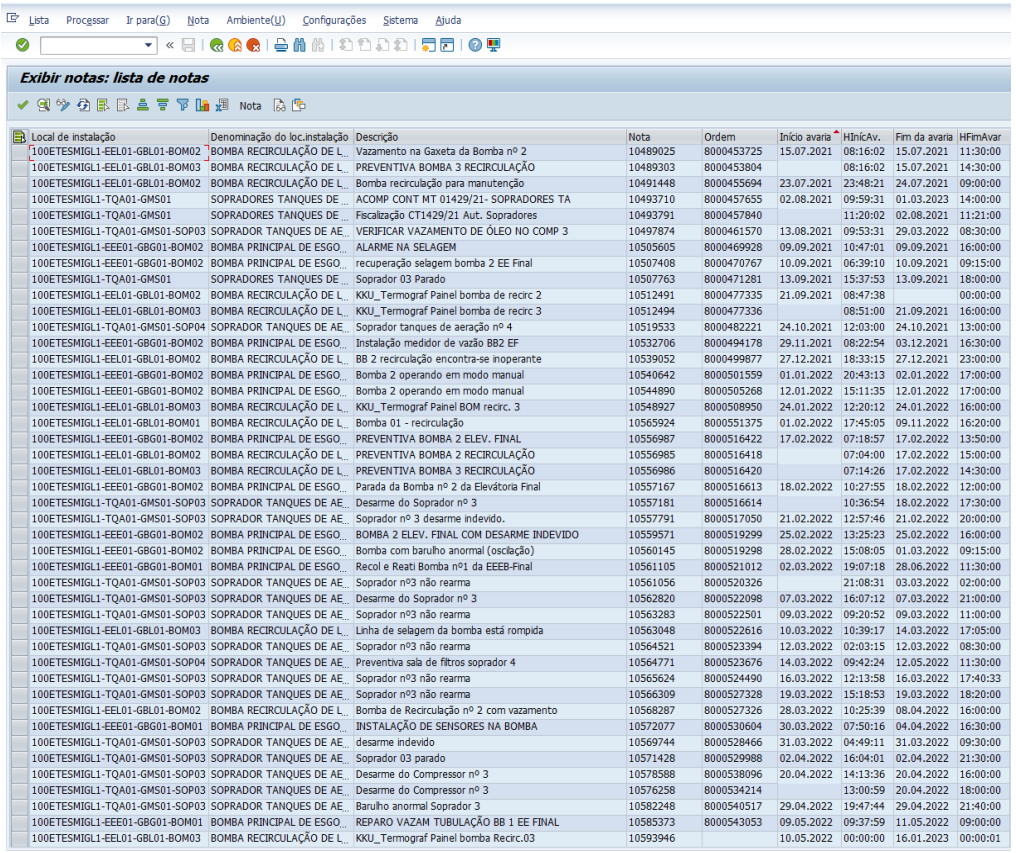
- Instalação: Elevatória de Recirculação - Bombeamento de Lodo Ativado.
- Função: Recircular o lodo ativado para o processo biológico e descartar o excedente.
- Capacidade requerida: 1350 L/s.
- Regime operacional: 3 conjuntos moto-bomba operando em pares com capacidade de 750 L/s cada.





3.2 Levantamento de Dados

Busca em histórico de dados de manutenção e determinação dos estados.



Exibir notas: lista de notas

Local de instalação	Denominação do loc.instalação	Descrição	Nota	Ordem	Início avaria	HInícAv.	Fim da avaria	HFimAvar
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM02	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	Vazamento na Gaxeta da Bomba nº 2	10489025	8000453725	15.07.2021	08:16:02	15.07.2021	11:30:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM03	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	PREVENTIVA BOMBA 3 RECIRCULAÇÃO	10489303	8000453804		08:16:02	15.07.2021	14:30:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM02	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	Bomba recirculação para manutenção	10491448	8000455694	23.07.2021	23:48:21	24.07.2021	09:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01	SOPRADORES TANQUES DE ..	ACOMP CONT MT 01429/21- SOPRADORES TA	10493710	8000457655	02.08.2021	09:59:31	01.03.2023	14:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01	SOPRADORES TANQUES DE ..	Fiscalização CT1429/21 Aut. Sopradores	10493791	8000457840		11:20:02	02.08.2021	11:21:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	VERIFICAR VAZAMENTO DE ÓLEO NO COMP 3	10497874	8000461570	13.08.2021	09:53:31	29.03.2022	08:30:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	ALARME NA SELAGEM	10505605	8000469928	09.09.2021	10:47:01	09.09.2021	16:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	recuperação selagem bomba 2 EE Final	10507408	8000470767	10.09.2021	06:39:10	10.09.2021	09:15:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01	SOPRADORES TANQUES DE ..	Soprador 03 Parado	10507763	8000471281	13.09.2021	15:37:53	13.09.2021	18:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM02	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	KKU_Termograf Painel bomba de recirc 2	10512491	8000477335	21.09.2021	08:47:38		00:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM03	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	KKU_Termograf Painel bomba de recirc 3	10512494	8000477336		08:51:00	21.09.2021	16:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP04	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador tanques de aeração nº 4	10519533	8000482221	24.10.2021	12:03:00	24.10.2021	13:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	Instalação medidor de vazão BB2 EF	10532706	8000494178	29.11.2021	08:22:54	03.12.2021	16:30:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM02	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	BB 2 recirculação encontra-se inoperante	10539052	8000499877	27.12.2021	18:33:15	27.12.2021	23:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	Bomba 2 operando em modo manual	10540642	8000501559	01.01.2022	20:43:13	02.01.2022	17:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	Bomba 2 operando em modo manual	10544890	8000505268	12.01.2022	15:11:35	12.01.2022	17:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM03	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	KKU_Termograf Painel BOM recirc. 3	10548927	8000508950	24.01.2022	12:20:12	24.01.2022	16:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM01	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	Bomba 01 - recirculação	10565924	8000551375	01.02.2022	17:45:05	09.11.2022	16:20:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	PREVENTIVA BOMBA 2 ELEV. FINAL	10556987	8000516422	17.02.2022	07:18:57	17.02.2022	13:50:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM02	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	PREVENTIVA BOMBA 2 RECIRCULAÇÃO	10556985	8000516418		07:04:00	17.02.2022	15:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM03	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	PREVENTIVA BOMBA 3 RECIRCULAÇÃO	10556986	8000516420		07:14:26	17.02.2022	14:30:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	Parada da Bomba nº 2 da Elevátoria Final	10557167	8000516613	18.02.2022	10:27:55	18.02.2022	12:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Desarme do Soprador nº 3	10557181	8000516614		10:36:54	18.02.2022	17:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador nº 3 desarme indevido.	10557791	8000517050	21.02.2022	12:57:46	21.02.2022	20:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	BOMBA 2 ELEV. FINAL COM DESARME INDEVIDO	10559571	8000519299	25.02.2022	13:25:23	25.02.2022	16:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM02	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	Bomba com barulho anormal (oscilação)	10560145	8000519298	28.02.2022	15:08:05	01.03.2022	09:15:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM01	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	Recol e Reati Bomba nº1 da EEEB-Final	10561105	8000521012	02.03.2022	19:07:18	28.06.2022	11:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador nº3 não rearma	10561056	8000520326		21:08:31	03.03.2022	02:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Desarme do Soprador nº 3	10562820	8000522098	07.03.2022	16:07:12	07.03.2022	21:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador nº3 não rearma	10563283	8000522501	09.03.2022	09:20:52	09.03.2022	11:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM03	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	Linha de selagem da bomba está rompida	10563048	8000522616	10.03.2022	10:39:17	14.03.2022	17:05:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador nº3 não rearma	10564521	8000523394	12.03.2022	02:03:15	12.03.2022	08:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP04	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Preventiva sala de filtros soprador 4	10564771	8000523676	14.03.2022	09:42:24	12.05.2022	11:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador nº3 não rearma	10565624	8000524490	16.03.2022	12:13:58	16.03.2022	17:40:33
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador nº3 não rearma	10566309	8000527328	19.03.2022	15:18:53	19.03.2022	18:20:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM02	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	Bomba de Recirculação nº 2 com vazamento	10568287	8000527326	28.03.2022	10:25:39	08.04.2022	16:00:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM01	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	INSTALAÇÃO DE SENSORES NA BOMBA	10572077	8000530604	30.03.2022	07:50:16	04.04.2022	16:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	desarme indevido	10569744	8000528466	31.03.2022	04:49:11	31.03.2022	09:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Soprador 03 parado	10571428	8000529988	02.04.2022	16:04:01	02.04.2022	21:30:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Desarme do Compressor nº 3	10578588	8000538096	20.04.2022	14:13:36	20.04.2022	16:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Desarme do Compressor nº 3	10576258	8000534214		13:00:59	20.04.2022	18:00:00
100ETESMIGL1-TQA01-GMS01-SOP03	SOPRADOR TANQUES DE AE..	Barulho anormal Soprador 3	10582248	8000540517	29.04.2022	19:47:44	29.04.2022	21:40:00
100ETESMIGL1-EEE01-GBG01-BOM01	BOMBA PRINCIPAL DE ESGO..	REPARO VAZAM TUBULAÇÃO BB 1 EE FINAL	10585373	8000543053	09.05.2022	09:37:59	11.05.2022	09:00:00
100ETESMIGL1-EEL01-GBL01-BOM03	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE L..	KKU_Termograf Painel bomba Recirc.03	10593946		10.05.2022	00:00:00	16.01.2023	00:00:01

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Local	ETE São Miguel													
2	Instalação	Elevatória Final					Tanques de Aeração				Elevatória de Recirculação				
3	Sub-Instalação	Bombeamento Esgoto Bruto					Sopradores				Bombeamento Recirculação				
4	Posição Operacional	BOMBA PRINCIPAL DE ESGOTO BRUTO	BOMBA PRINCIPAL DE ESGOTO BRUTO	BOMBA PRINCIPAL DE ESGOTO BRUTO	Estado	Transição	SOPRADOR TANQUES DE AERAÇÃO 3	SOPRADOR TANQUES DE AERAÇÃO 4	Estado inicial	Transição	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE LODO ATIVADO 1	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE LODO ATIVADO 2	BOMBA RECIRCULAÇÃO DE LODO ATIVADO 3	Estado	Transição
6	Data														
42	05/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
43	06/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
44	07/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
45	08/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
46	09/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
47	10/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
48	11/03/2021	D	D	I	s1	p10	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
49	12/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
50	13/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
51	14/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p11
52	15/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	I	D	s1	p10
53	16/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
54	17/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
55	18/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
56	19/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
57	20/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
58	21/03/2021	D	D	D	s0	p01	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
59	22/03/2021	D	I	D	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
60	23/03/2021	D	I	D	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
61	24/03/2021	D	I	D	s1	p10	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
62	25/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
63	26/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
64	27/03/2021	D	D	D	s0	p00	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
65	28/03/2021	D	D	D	s0	p01	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
66	01/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
67	02/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
68	03/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
69	04/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
70	05/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
71	06/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
72	07/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
73	08/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
74	09/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
75	10/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
76	11/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
77	12/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00
78	13/03/2021	D	D	I	s1	p11	I	D	s1	p11	D	D	D	s0	p00

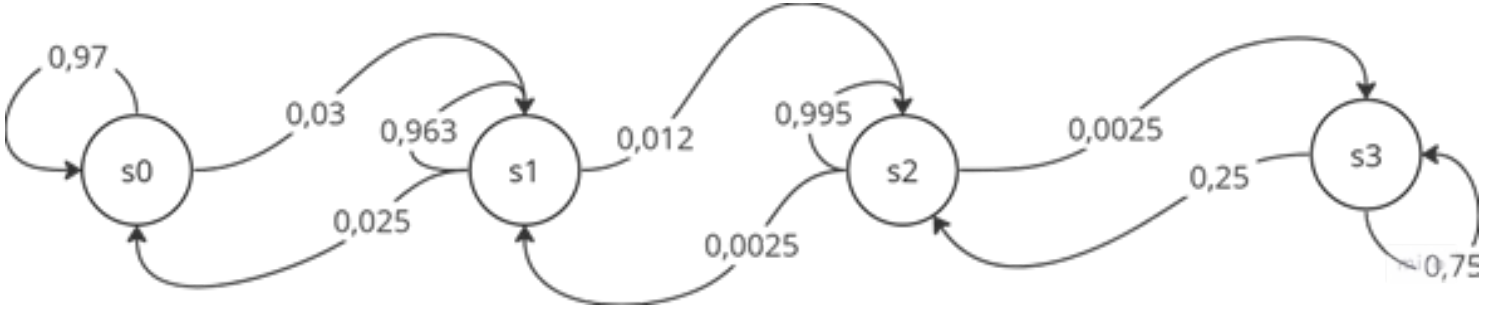
3.3 Aplicação do Modelo

ELEVATÓRIA FINAL – ESGOTO BRUTO

- Estado s0: Todas as bombas disponíveis.
- Estado s1: Uma bomba indisponível.
- Estado s2: Duas bombas indisponíveis.
- Estado s3: Três bombas indisponíveis.

M_{EEF} =

	s0	s1	s2	s3
s0	97%	3%	0%	0%
s1	2,5%	96,3%	1,2%	0%
s2	0%	0,2%	99,5%	0,2%
s3	0%	0%	25%	75%



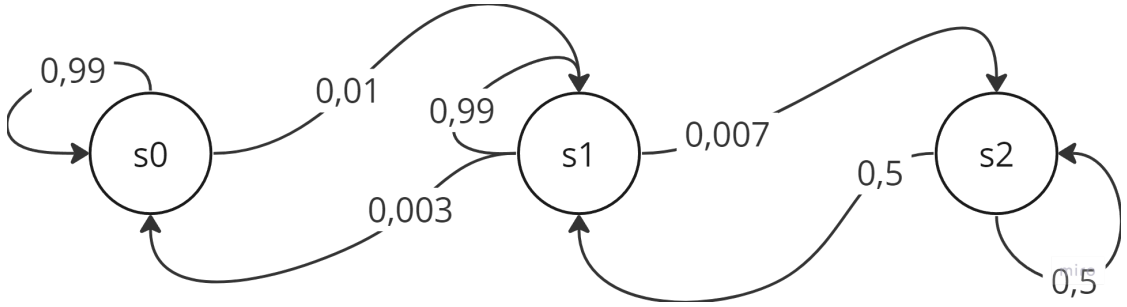
3.3 Aplicação do Modelo

TANQUES DE AERAÇÃO – SOPRADORES

- Estado s0: Ambos os sopradores disponíveis.
- Estado s1: Um soprador indisponível.
- Estado s2: Dois sopradores indisponíveis.

M_{SOP} =

	s0	s1	s2
s0	99%	1%	0%
s1	0,3%	99%	0,7%
s2	0%	50%	50%



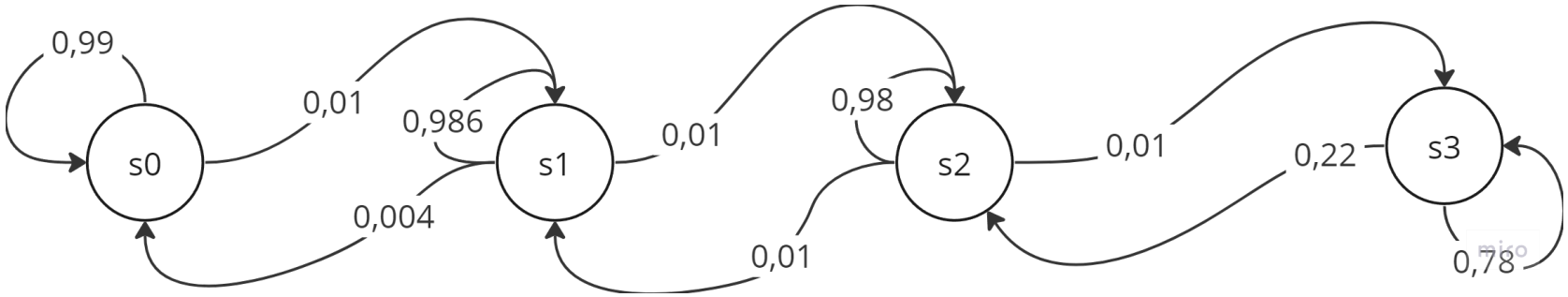
3.3 Aplicação do Modelo

ELEVATÓRIA DE RECIRCULAÇÃO – LODO ATIVADO

- Estado s0: Todas as bombas disponíveis.
- Estado s1: Uma bomba indisponível.
- Estado s2: Duas bombas indisponíveis.
- Estado s3: Três bombas indisponíveis.

M_{ERL} =

	s0	s1	s2	s3
s0	99%	1%	0%	0%
s1	0,4%	98,6%	1%	0%
s2	0%	1%	98%	1%
s3	0%	0%	22%	78%

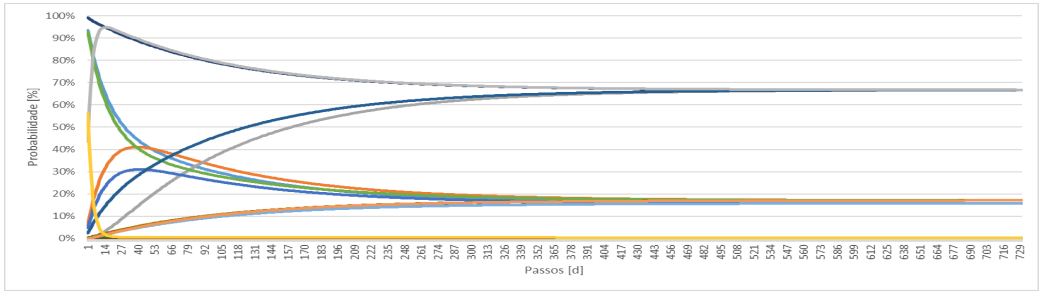


4.Resultados

Instalação	Passo	p00	p01	p02	p03	p10	p11	p12	p13	p20	p21	p22	p23	p30	p31	p32	p33
EEE	*1*	*94%*	*6%*	*0%*	*0%*	*5%*	*93%*	*2%*	*0%*	*0%*	*0%*	*98%*	*1%*	*0%*	*0%*	*6%*	*94%*
SOP	*1*	*97%*	*3%*	*0%*		*1%*	*98%*	*1%*		*0%*	*74%*	*25%*					
ERL	*1*	*98%*	*2%*	*0%*	*0%*	*1%*	*97%*	*2%*	*0%*	*0%*	*3%*	*96%*	*1%*	*0%*	*0%*	*39%*	*61%*
EEE	*2*	*91%*	*9%*	*0%*	*0%*	*7%*	*90%*	*4%*	*0%*	*1%*	*1%*	*97%*	*2%*	*0%*	*0%*	*8%*	*92%*
SOP	2	96%	4%	0%		1%	98%	1%		0%	86%	13%					
ERL	2	97%	3%	0%	0%	1%	96%	3%	0%	0%	4%	94%	1%	0%	1%	52%	47%
EEE	3	88%	12%	0%	0%	9%	87%	5%	0%	1%	1%	96%	3%	0%	0%	11%	89%
SOP	*3*	*94%*	*6%*	*0%*		*1%*	*97%*	*1%*		*1%*	*92%*	*7%*					
ERL	3	96%	4%	0%	0%	1%	95%	4%	0%	0%	5%	93%	2%	0%	2%	61%	37%
EEE	4	85%	14%	0%	0%	11%	84%	6%	0%	1%	1%	95%	3%	0%	0%	13%	87%
SOP	4	93%	7%	0%		2%	97%	1%		1%	95%	4%					
ERL	4	95%	4%	0%	0%	2%	94%	4%	0%	0%	7%	91%	2%	0%	2%	68%	29%
							...										
EEE	314	17%	19%	51%	13%	17%	18%	52%	13%	14%	16%	55%	15%	14%	15%	56%	15%
SOP	314	19%	80%	1%		19%	80%	1%		19%	80%	1%					
ERL	314	22%	47%	30%	1%	19%	48%	32%	1%	18%	48%	33%	1%	18%	48%	33%	1%
EEE	315	17%	19%	51%	13%	17%	18%	52%	13%	14%	16%	55%	15%	14%	15%	56%	15%
SOP	315	19%	80%	1%		19%	80%	1%		19%	80%	1%					
ERL	315	22%	47%	30%	1%	19%	48%	32%	1%	18%	48%	33%	1%	18%	48%	33%	1%
							...										
EEE	729	15%	17%	54%	14%	15%	17%	54%	14%	15%	17%	54%	14%	15%	17%	54%	14%
SOP	729	19%	80%	1%		19%	80%	1%		19%	80%	1%					
ERL	729	20%	48%	32%	1%	20%	48%	32%	1%	20%	48%	32%	1%	20%	48%	32%	1%
EEE	730	15%	17%	54%	14%	15%	17%	54%	14%	15%	17%	54%	14%	15%	17%	54%	14%
SOP	730	19%	80%	1%		19%	80%	1%		19%	80%	1%					
ERL	730	20%	48%	32%	1%	20%	48%	32%	1%	20%	48%	32%	1%	20%	48%	32%	1%

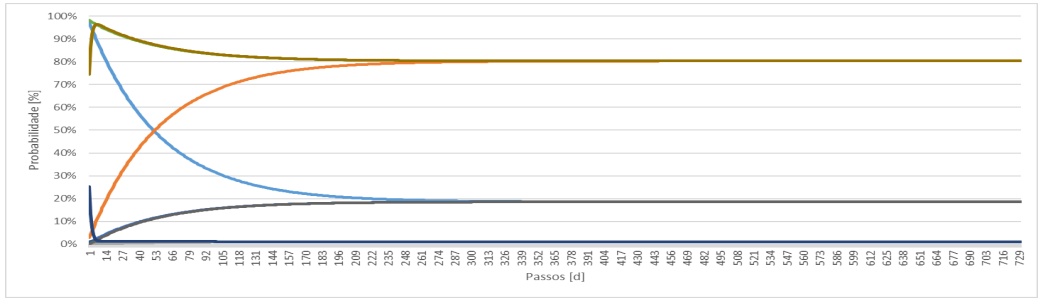
4.Resultados

Elevatória Final



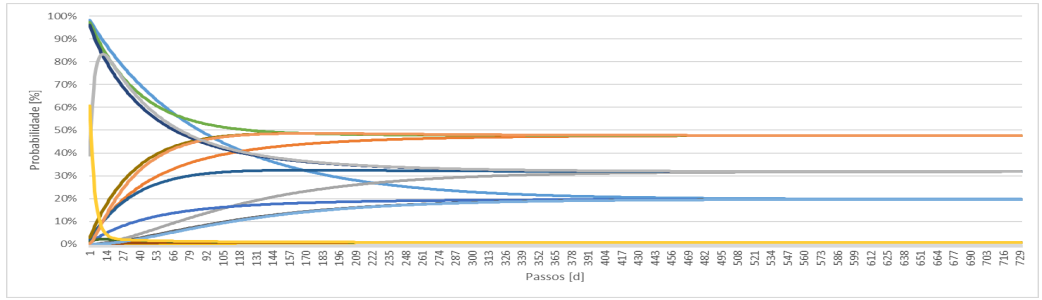
$$M_{EEF} = \begin{array}{c|cccc} & s0 & s1 & s2 & s3 \\ \hline s0 & 16\% & 17\% & 67\% & 0\% \\ s1 & 16\% & 17\% & 67\% & 0\% \\ s2 & 16\% & 17\% & 67\% & 0\% \\ s3 & 16\% & 17\% & 67\% & 0\% \end{array}$$

Sopradores



$$M_{SOP} = \begin{array}{c|ccc} & s0 & s1 & s2 \\ \hline s0 & 19\% & 80\% & 1\% \\ s1 & 19\% & 80\% & 1\% \\ s2 & 19\% & 80\% & 1\% \end{array}$$

Elevatória de Recirculação



$$M_{ERL} = \begin{array}{c|cccc} & s0 & s1 & s2 & s3 \\ \hline s0 & 20\% & 48\% & 32\% & 1\% \\ s1 & 20\% & 48\% & 32\% & 1\% \\ s2 & 20\% & 48\% & 32\% & 1\% \\ s3 & 20\% & 48\% & 32\% & 1\% \end{array}$$

5.Conclusão

A aplicação do estudo alcançou seu objetivo ao possibilitar a avaliação da disponibilidade estimada para sistemas operando com redundância. O método das cadeias de Markov proporciona uma estimativa coerente da probabilidade de colapso nos sistemas, considerando todas as possíveis estratégias de operação redundantes.

Este modelo revela que, dos três subsistemas avaliados, dois operam com segurança operacional adequada, enquanto um requer uma avaliação mais detalhada. Essa análise é crucial, pois enquanto uma instalação corre o risco potencial de insuficiência, as outras podem estar gerando custos desnecessários.

Sugere-se a reaplicação deste modelo em outras Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), considerando que seus projetos são concebidos com diversos critérios de dimensionamento para sistemas redundantes. Além disso, propõe-se como continuidade deste estudo a aplicação desses modelos em simulações que avaliem configurações alternativas das instalações, buscando encontrar modelos ótimos que equilibrem custo, risco e desempenho desses processos críticos.

6. Referências

- 1.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade – Referências** - Elaboração. Rio de Janeiro, 1994.
- 2.BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e Índices de Manutenção.** Editora Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro, 2006.
- 3.COLOMBO, D; ABREU, D.T.M.P; MARTINS, D.E.A.; DUIM, F.A.C.; MARTINS, F. B.; TAMMELA, I; CARDOSO, R.; **Análise do impacto da frequência de testes na disponibilidade do BOP utilizando um modelo markoviano multifásico.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.11, p. 103985-104005 nov. 2021.
- 4.DE PAULA, Cassio Pereira.; **Otimização Multiobjetivo da Disponibilidade e Custo em Sistemas Redundantes.** Campinas: Unicamp, 2016. 117p.
- 5.GOLMAKANI, A; SILVA, A.A; FREIRA, M.S.F.;BARBOSA, M.K.; CARVALHO, P.H.G.; ALVES, V.L.; **Cadeias de Markov.** VII Bienal da Sociedade Brasileira de Matemática Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014
- 6.GURSKI, Carlos Alberto. **Curso de Formação de Operadores de Refinaria: Noções de Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Petrobras, Curitiba, 2002.
- 7.ReCESA; **Esgotamento Sanitário – Processos de Tratamento de Esgotos - Nível 1**; Brasil; ReCESA-Rededе Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
- 8.SANTOS, W.B.; MOURA, M.J.C.; DINIZ, H.H.L.; BORBA, R.D.; DROGUETT, E.L., R.; **Análise da disponibilidade de equipamentos de fabricação de cabos elétricos da indústria automotiva via processos de Markov.** XXXVI SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, São João Del Rei-MG, nov. 2004.
- 9.SILVEIRA, Júlio Cesar Agricola Costa da**. Análise RAM de um Sistema de Transporte de Bobinas de Aço. Monografia (Especialização)** – Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Paraná, 2017.
- 10.UFPE-UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO.; **Capítulo 5 – Processos de Markov. P146-200**, Disponível em: https://www.cin.ufpe.br/~rmfl/ADS_MaterialDidatico/PDFs/Markov/ProcessosMarkovianos
- 11.VERRI, Luiz Alberto; **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial: Aplicação Prática.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007
- 12.https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=3 <acessado em 02/04/2024>

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



OBRIGADO!

Bruno Fernandes de Holanda
(11) 98332-3804
bholanda@sabesp.com.br

Engenharia - Definição

- É a profissão onde os conhecimentos científicos, a experiência, o bom-senso e a criatividade humana são utilizados para a solução dos problemas materiais da sociedade, buscando melhorar a qualidade de vida.

Profº Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp