

Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027.	
Edital nº 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA – 21/11/2022	
TEMA	1- Controle realimentado.
QUESTÃO 1 Formule uma questão de prova sobre Controle Linear Realimentado de Sistemas Lineares Invariantes no Tempo. Resolva a questão. ✓	
TEMA	5- Modelagem de sistemas a eventos discretos por autômatos e redes de Petri.
QUESTÃO 2 Defina <u>Autômato</u> , ilustrando os elementos básicos por intermédio de um exemplo; Defina <u>Linguagem gerada</u> e <u>Linguagem marcada</u> , estados <u>acessíveis</u> e <u>co-acessíveis</u> , <u>bloqueio</u> ; Fale sobre operações <u>unárias</u> e de <u>composição</u> ; Defina <u>Rede de Petri</u> , ilustrando os elementos básicos por intermédio de um exemplo; Defina <u>Equação de Estado</u> , explicando como obter a matriz de incidência; Explique como obter a <u>árvore de cobertura</u> ; Disserte sobre problemas de alcançabilidade e conservação. ✓	
TEMA	6- Controle supervisorio de sistemas a eventos discretos.
QUESTÃO 3 Considere que você foi contratado para projetar o controle lógico de um grande fábrica (com muitos dispositivos que precisam ser coordenados para que funcionem conjuntamente de forma correta e sem travamentos) que está sendo instalada no Brasil. Suponha que seu contratante exige que o Controle Supervisorio de Sistemas a Eventos Discretos seja utilizado no projeto. Discuta os passos para a realização desse projeto.	

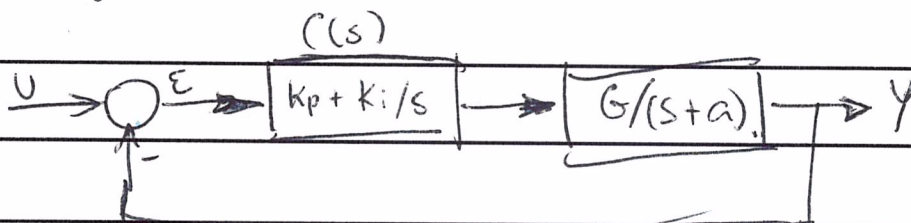
PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 1

QUESTÃO DE PROVA (Formulação): Projete os ganhos de um controlador PI (K_p, K_i) para o Sistema Linear (invariante no tempo) mostrado abaixo, a fim de obter uma resposta em malha fechada com largura de banda ω_w . ~~2 pontos~~



Utilize o método do cancelamento de polos (2 pontos)

Resolução da Questão:

Passo 1: cancelamento de polos: $K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_p s + K_i}{s}$

$$\therefore C(s) = \frac{K_p (s + K_i/K_p)}{s} \Rightarrow \boxed{K_i/K_p = a}$$

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 75M

RESPOSTA QUESTÃO 1

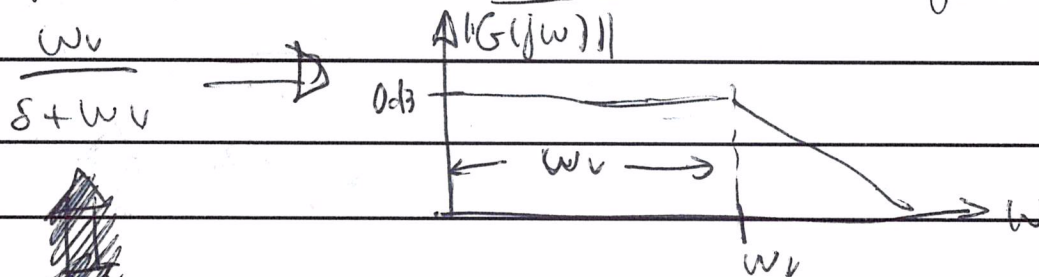
Passo 2: Cálculo da Função de transferência da malha fechada (0,5 pt)

$$C(s)G(s) = \frac{K_p(s+a)G}{s(s+a)} = \frac{K_pG}{s}$$

$$\therefore \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{K_pG/s}{1 + K_pG/s} = \frac{K_pG}{s + K_pG}$$

Passo 3: Ajuste do Ganho proporcional para obter ω_v (0,5 pt)

~~Resposta~~ Sistema em malha fechada desejado:



~~$\frac{K_pG}{s + K_pG}$~~

Sistema obtido no Passo 2: $\frac{K_pG}{s + K_pG}$

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 9 JM

RESPOSTA QUESTÃO 1

Passo 3 (Continuação)

Igualando sistema obtido e desejado:

$$\frac{w_v}{s+w_v} = \frac{k_p G}{s+k_p G} \Rightarrow k_p G = w_v$$

$$k_p = w_v / G$$

Passo 4: Obtenção do Ganho Integral (0,5 pt)

Passo 1 $\Rightarrow k_i / k_p = 0 \Rightarrow k_i = a k_p$

$$k_i = a w_v / G$$

Resposta Final:

$$\frac{k_p + k_i}{s} \Rightarrow \frac{w_v}{G} + \frac{a w_v}{G s}$$

\therefore controlador $C(s) = \frac{w_v (s+a)}{G s}$

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>CEG9JM</p>

RESPOSTA QUESTÃO 2

Autômatos são dispositivos que geram linguagem, portanto são capazes de modelar (descrever) sistemas a Eventos Discretos (SED). Tais sistemas não evoluem com o tempo, mas sim através da ocorrência de eventos discretos.

Linguagem é um conjunto de palavras que descrevem sequências de eventos possíveis de um SED, i.e., sequências que permitem modelar as evoluções dos estados do SED.

A modelagem de SED através de autômatos resulta em um formalismo do tipo Quintupla

$$G = (X, \Sigma, f, x_0, X_m)$$

Onde: X é o conjunto dos estados $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_n\}$
 Σ é o alfabeto, i.e., o conjunto de eventos $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$
 $f: X \times \Sigma \rightarrow X$ é a função que mapeia o próximo estado $f(x, \sigma) \in X$, dado o estado atual $x \in X$ e a ocorrência do evento σ .

PROVA ESCRITA
21/11/2022

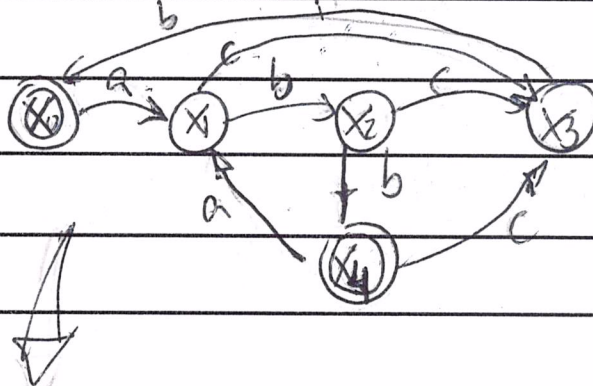
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEGaJM

RESPOSTA QUESTÃO 2

X_0 é o estado inicial, enquanto que $X_m \subseteq X$ é o conjunto dos estados marcados.

Gráficamente, a representação de SED por Automator se dá através de círculos (Estados) e arcos (transições/eventos), por exemplo:



$$X = \{X_0, X_1, X_2, X_3, X_4\}$$

$$\Sigma = \{a, b, c\}$$

Estado inicial: X_0

$$X_m = \{X_0, X_4\} \subset X$$

$X_0 \rightarrow$ Equipamento aguardando (Inicial)

X_1 e $X_2 \rightarrow$ Estados intermediários (setup e carregamento do sistema)

$X_3 \rightarrow$ Estado de proteção (por ex.) (Ocorrência de algum alarme \rightarrow evento "c")

$X_4 \rightarrow$ Operação nominal do equipamento

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CE69JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Um Automato gera dois tipos de linguagens:

① Linguagem gerada ($L(G)$) – consiste do conjunto de seqüências que permitem alcançar um estado definido do Automato, a partir do estado inicial x_0 :

$L(G) = \{s \in \Sigma^* \mid f(x_0, s) \text{ é definido}\}$
 onde: Σ^* é o fecho de Kleene de $\Sigma \Rightarrow$ o conjunto de todas as seqüências finitas de eventos pertencentes a Σ .

② Linguagem Marcada ($L_m(G)$) – consiste do conjunto de seqüências que permitem alcançar estados marcados:

$$L_m(G) = \{s \in L(G) \mid f(x_0, s) \in X_m\}$$

$$L_m(G) \subseteq L(G) \subseteq \Sigma^*$$

Os estados marcados são aqueles com algum significado específico (especial) no SED modelado.

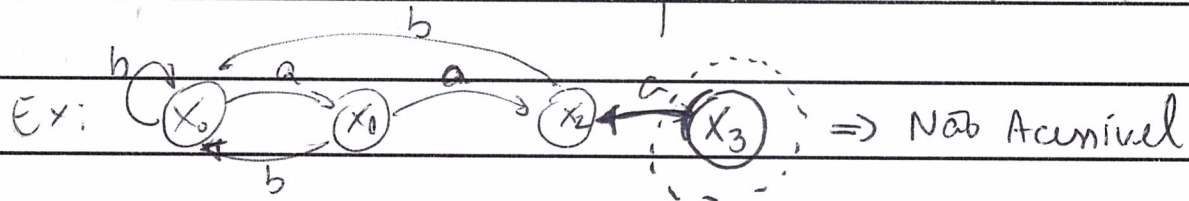
PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 95M

RESPOSTA QUESTÃO 2

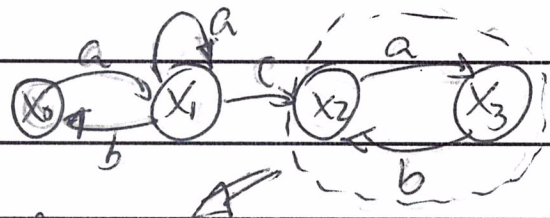
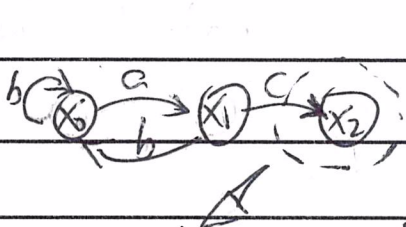
Estados acionáveis são aqueles que podem ser alcançados (alcançados) a partir do estado inicial x_0 através de uma sequência de eventos (s)



Estados Coacionáveis são aqueles estados a partir dos quais pode-se alcançar ~~os~~ estados marcados.

Estados de Bloqueio são aqueles ^{em} que, ~~em~~ não há eventos que permitam sair desses estados (ou de retornar ao estado inicial)

Ex:



Bloqueio tipo Deadlock

Bloqueio tipo Liveblock

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>CEG 95M</p>

RESPOSTA QUESTÃO 2

Operações unárias: • parte Acenível ($A_c(G)$) retorna um automato contendo apenas os estados aceníveis

• parte CoAcenível ($CoA_c(G)$) retorna um automato contendo os estados coacniveis apenas.

• Operação $Trma(G) = A_c(CoA_c(G))$ retorna a parte acenível de parte coacnível ~~de~~ do automato G
DBS: $A_c(CoA_c(G)) = CoA_c(A_c(G))$

Operações de composição: • Composição Produto
($G = G_1 \times G_2$) - É uma operação de composição totalmente síncrona, i.e., apenas transições com eventos sincronizados em G_1 e G_2 podem ocorrer

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9 JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Composição Paralela ($G = G_1 \parallel G_2$) - Retorna o auto-
mato composto através de uma operação de
composição síncrona, i.e., os eventos ~~que~~ síncronos
de G_1 e G_2 determinam o avanço dos estados
compostos; ~~assim~~ Também são quantificadas as
transições relacionadas a eventos de Σ_1 que
não existem em Σ_2 e eventos de Σ_2 que não
existem em Σ_1 (eventos independentes entre Σ_1 e Σ_2)

A composição paralela pode ser utilizada para
obter um automato de uma SED, onde ~~podem~~
existem subsistemas modelados de forma mais
simples:

(Exemplo na próxima página)

PROVA ESCRITA
21/11/2022

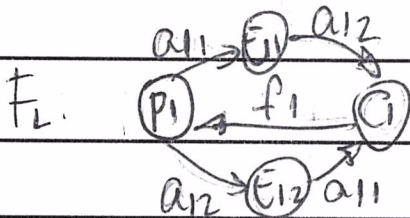
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9JM

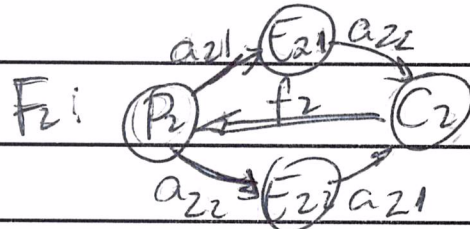
RESPOSTA QUESTÃO 2

Exemplo de Aplicações da composição Paralela:

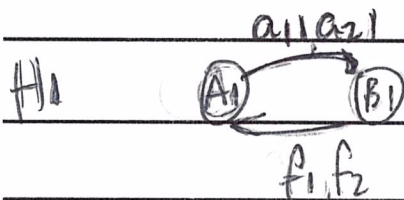
- Problema dos 2 filósofos Jantando



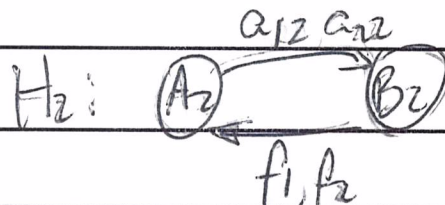
Automato Filósofo 1



Automato Filósofo 2



Automato do Hashi 1



Automato do Hashi 2

Automato do SED completo: $G = F_1 \parallel F_2 \parallel H_1 \parallel H_2$

~~através da~~ através da Composição Paralela

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>CEG 9JM</p>

RESPOSTA QUESTÃO 2

Redes de Petri são ~~gráficos~~ grafos bipartidos ponderados ~~que~~ é capazes de modular (representar) SED.

Foram desenvolvidas nas décadas de 60 e 70 e são aplicadas em diversas áreas incluindo automação industrial, programação concorrente, entre outras.

Bipartidas, pois possuem dois tipos de nós (lugares e transições) e ponderados, pois ~~as~~ as arcos de conexão entre lugares e transições são ponderados por quantidades inteiras positivas.

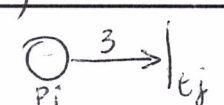
Formalmente, a estrutura de uma Rede de Petri é definida por uma Quadrupla:

$$N = (P, T, Pre, Post), \text{ onde}$$

P é o conjunto dos lugares ($P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$)

T é o conjunto das transições ($T = \{t_1, t_2, \dots, t_M\}$)

$Pre: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ é a função que descreve as conexões entre os lugares e as transições, associando uma

ponderação a cada arco (ex:  $pre(p_i, t_j) = 3$)

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9JM

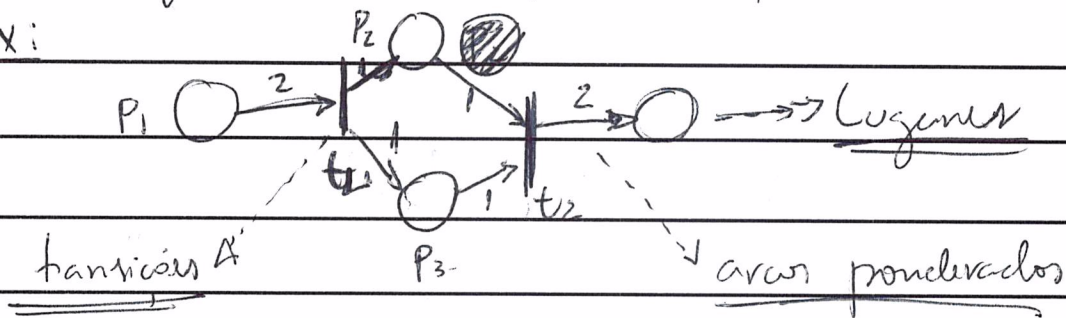
RESPOSTA QUESTÃO 2

Post: $T \times P \rightarrow \mathbb{N}$ é a função que descreve as conexões dos arcos de T para os lugares. Tais arcos são ponderados por um número inteiro positivo.

Ex: $\left(\begin{array}{c} \xrightarrow{2} O_{P_i} \\ t_j \end{array} \right) \text{ Post}(t_j, P_i) = 2$

Graficamente, os lugares são representados por círculos " O_{P_i} " e as transições por barras " t_j "; além disso, os arcos que conectam lugares e transições são ponderados.


Ex:



OBS: quando um arco não possui especificação de ponderação, esta é entendida como 1.

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>CEG 9 JM</p>

RESPOSTA QUESTÃO 2

Redes de Petri possuem marcações associadas ao número de fichas (tokens) de cada lugar
ex.: P_1  \Rightarrow lugar P_1 com 3 fichas.

A distribuição de fichas inicial da Rede de Petri é chamada de marcação inicial de Rede, ou seja, o estado inicial da Rede, definindo, assim, uma quintupla: $N = (P, T, Pre, Post, x_0)$ onde x_0 é o vetor de estado inicial contendo a informação da marcação inicial de cada lugar.

A partir do estado inicial a Rede evolui com sua respectiva dinâmica (associada a ocorrência de eventos discretos) alcançando novas marcações i.e. novos estados.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Considerações sobre Redes de Petri:

• Disparo de transições estão associadas a ocorrência de eventos discretos no contexto de SEDs.

• A função $pre(p_i, t_j)$ está associada à retirada de fichas dos lugares de entrada de t_j , quando esta dispara.

• A função $post(t_j, p_i)$ está associada à adição de fichas aos lugares de saída de t_j , quando esta dispara.

• Redes de Petri podem implementar ainda arcos inibidores e temporização quando utilizadas para definição de prioridades (em conflitos) por ~~parte~~ controladores a Eventos discretos.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG-9JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Considerações sobre Redes de Petri

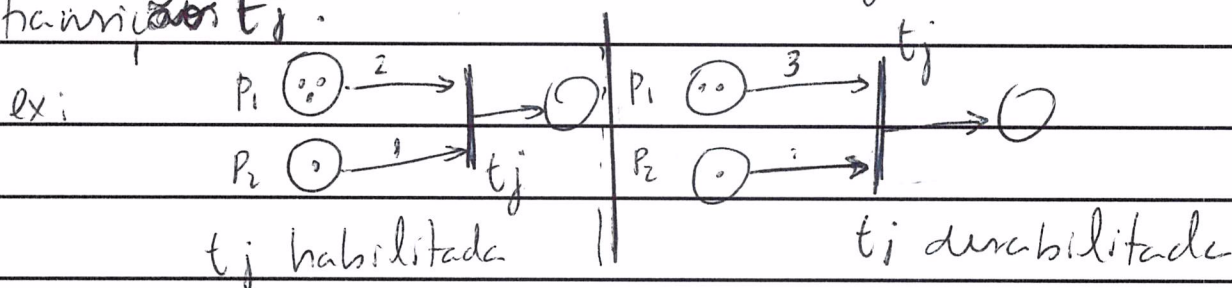
• Nos automatos, cada ~~estado~~ círculo representa um estado, enquanto que nas Redes de Petri, o conceito de estado está associado a marcação de todos os lugares (círculos). Isso e a capacidade de implementar arcos ponderados em um grafo bipartido, dão as Redes de Petri maior versatilidade para modelar Sistemas a Eventos Discretos (SED) mais complexos

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Dinâmica das redes de Petri:

- Apenas uma transição t_j dispara por vez
- Critério de habilitação de t_j : $t_j \in T$ está habilitada a disparar se, para todo lugar de entrada de t_j , existirem $\#$ número de fichas maior ou igual ao valor dos arcos ponderados que conectam os lugares à transição t_j .



Se $X(P_i) \geq \text{pre}(P_i, t_j)$, $\forall P_i \in \text{Lugares de Entrada de } t_j$

então t_j está habilitada (pode disparar)

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

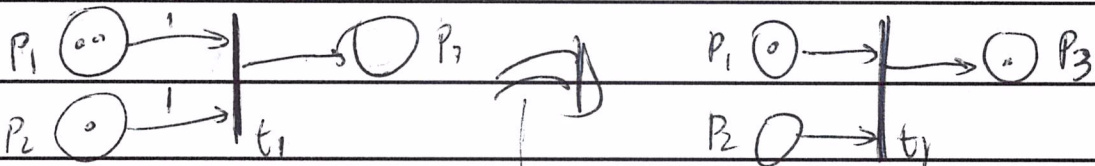
Dinâmica da Rede de Petri: Se uma transição esta habilitada e seu disparo ocorre, uma nova marcação é alcançada na Rede de Petri de tal forma que:

~~$X'(P_i) = X(P_i) - \text{Pre}(P_i, t_j) + \text{Post}(t_j, P_i)$~~

$$X'(P_i) = X(P_i) - \text{Pre}(P_i, t_j) + \text{Post}(t_j, P_i)$$

nova marcação
marcação atual

Ex:



$$X = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{t_j \text{ dispara}} X' = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 95M

RESPOSTA QUESTÃO 2

Equação de Estado da Rede de Rets: (t_j disparar)

$$\dot{X}(P_1) = X(P_1) - Pre(P_1, t_j) + Post(t_j, P_1)$$

$$\vdots$$

$$\dot{X}(P_N) = X(P_N) - Pre(P_N, t_j) + Post(t_j, P_N)$$

↓

$$\dot{X} = X - \begin{bmatrix} Pre(P_1, t_j) \\ \vdots \\ Pre(P_N, t_j) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Post(t_j, P_1) \\ \vdots \\ Post(t_j, P_N) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Pre(P_1, t_j) \\ \vdots \\ Pre(P_N, t_j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Pre(P_1, t_1) & \dots & Pre(P_1, t_M) \\ \vdots & & \vdots \\ Pre(P_N, t_1) & \dots & Pre(P_N, t_M) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow t_j$$

A_{in}

$$\begin{bmatrix} Post(t_j, P_1) \\ \vdots \\ Post(t_j, P_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Post(t_1, P_1) & \dots & Post(t_M, P_1) \\ \vdots & & \vdots \\ Post(t_1, P_N) & \dots & Post(t_M, P_N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow t_j$$

A_{out}

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CGG 95M

RESPOSTA QUESTÃO 2

Equações de Estado da Rede de Petri:

$$\underline{x}' = \underline{x} - A_{in} \underline{u} + A_{out} \underline{u}, \quad \underline{u} \text{ é o vetor de disparo}$$

$$\therefore \underline{x}' = \underline{x} + (A_{out} - A_{in}) \underline{u}$$

$A \rightarrow$ ~~matriz de incidência~~

$\underline{x}' = \underline{x} + A \underline{u}$

onde A é a matriz de incidência da Rede de Petri e define a dinâmica de evolução da rede.

• Se uma transição t_j dispara então

$$u(t_j) = 1$$

• A rede alcança uma nova marcação \underline{x}' .

PROVA ESCRITA
21/11/2022

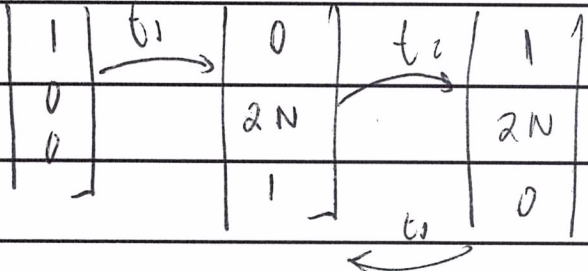
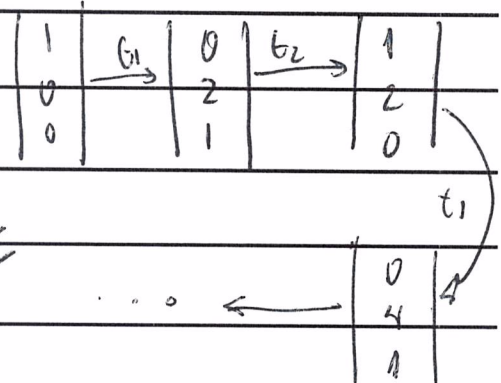
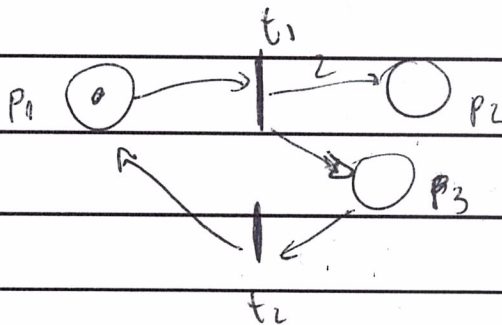
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Árvore de cobertura é obtida a partir do mapeamento dos estados alcançáveis a partir do estado inicial da Rede de Petri para cada evento que pode ocorrer, i.e., para cada possível disparo das ~~transições~~ transições da rede, descrevendo, assim, a dinâmica de evolução dos estados.

ex:



PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 2

Problema de Alcançabilidade e conservação:

Certos estados em um SED podem não ser alcançáveis, ou podem quando alcançados resultar em problemas de bloqueio do sistema.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 95M

RESPOSTA QUESTÃO 3

Passos para realização de projeto de controle Supervisório

Passo 1 - Levantamento e documentação dos equipamentos, sensores e atuadores do sistema a eventos disruptivos (SED), i.e., da Planta.

Passo 2 - Determinar funcionamentos (operações) da Planta e os eventos gerados pela Planta.

Passo 3 - Modelagem do Sistema (SED) utilizando Redes de Petri;

Passo 4 - Projeto das especificações do controlador Supervisório, baseado nos requisitos do contratante.

Passos - Projeto de uma Rede de Petri Interpretada para Controle que implemente as especificações do Passo 4 [1]

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 95M

RESPOSTA QUESTÃO 3

Passo 6 | - Documentação do sistema utilizando GRAFCET (IEC-631131-3)

Passo 7 | - Conversão da Rede de Petri Interpretada para Controle (RPIIC) para os respectivos programas em LADDER, utilizando o método em [1].

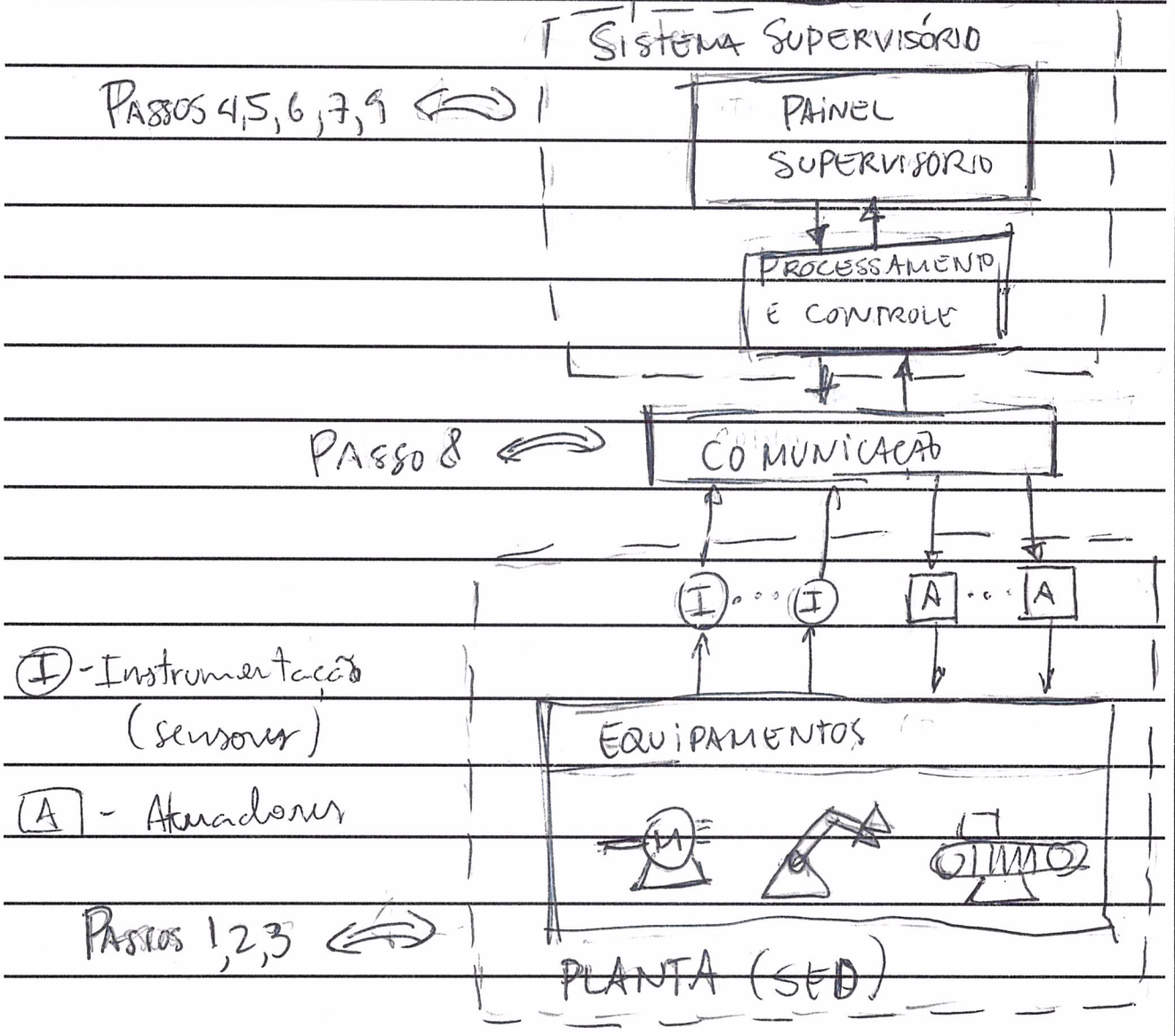
Passo 8 | - Implementação da Rede de Comunicação para o envio de dados e comandos entre a estação de controle supervisionário e os equipamentos (sensores e atuadores)

Passo 9 | - Implementação do sistema SCADA (utilizando SCADA BR) para aquisição dos dados e realização do controle ~~de~~ supervisão de sistemas a eventos discretos.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 9 JM

RESPOSTA QUESTÃO 3

Passo 10 - Etapa de teste, validação e correção do sistema de controle supervisão.



PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	CEG 9JM

RESPOSTA QUESTÃO 3

Referência para o projeto dos PASSOS 5 e 7:

[1] Vicente, A.; Barilho, J., "Bridging the Gap between Design and Implementation of Discret Event Controllers", IEEE, 2019.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

CEG 95M

RESPOSTA QUESTÃO 3

~~1. a) ...
b) ...
c) ...
d) ...
e) ...
f) ...
g) ...
h) ...
i) ...
j) ...
k) ...
l) ...
m) ...
n) ...
o) ...
p) ...
q) ...
r) ...
s) ...
t) ...
u) ...
v) ...
w) ...
x) ...
y) ...
z) ...~~