

Construção da simulação da praça de pedágio no Arena

Leonardo D. Secchin

Abril, 2024

1 O problema

Vamos simular uma praça de pedágio baseados em [1], com as seguintes cabines:

- 2 cabines “MOEDA1” e “MOEDA2” onde o próprio motorista paga em moedas o valor exato do pedágio;
- 2 cabines “TROCO1” e “TROCO2” que recebem dinheiro e dão troco;
- 1 cabine “ELETRONICO” para carros cadastrados.

Unidade de tempo base: segundos.

1.1 Tipos de pagamento

- 50% dos carros pagam em MOEDAS
Tempo de passagem na cabine MOEDA (seg): $\text{Normal}(4.81, 1.01)$
- 30% dos carros pagam em dinheiro, com TROCO
Tempo de passagem na cabine TROCO (seg): $5 + \text{Logn}(4.67, 2.26)$
- 20% dos carros pagam ELETRONICAMENTE
Tempo passagem cabine ELETRONICO (seg): $1.18 + 4.29 * \text{Beta}(2.27, 3.02)$

1.2 Frequência de chegada dos carros

Interarrival time distributions by time of day


Time Period (hours)	Interarrival Time Distribution (seconds)
12 A.M.–6 A.M.	$8 + \text{Gamm}(4.4, 4.12)$
6 A.M.–9 A.M.	$\text{Tria}(1.32, 1.57, 1.76)$
9 A.M.–4 P.M.	$2.64 + \text{Weib}(0.82, 4.5)$
4 P.M.–7 P.M.	$\text{Tria}(1.32, 1.57, 1.76)$
7 P.M.–12 A.M.	$4.2 + \text{Gamm}(0.87, 8.24)$

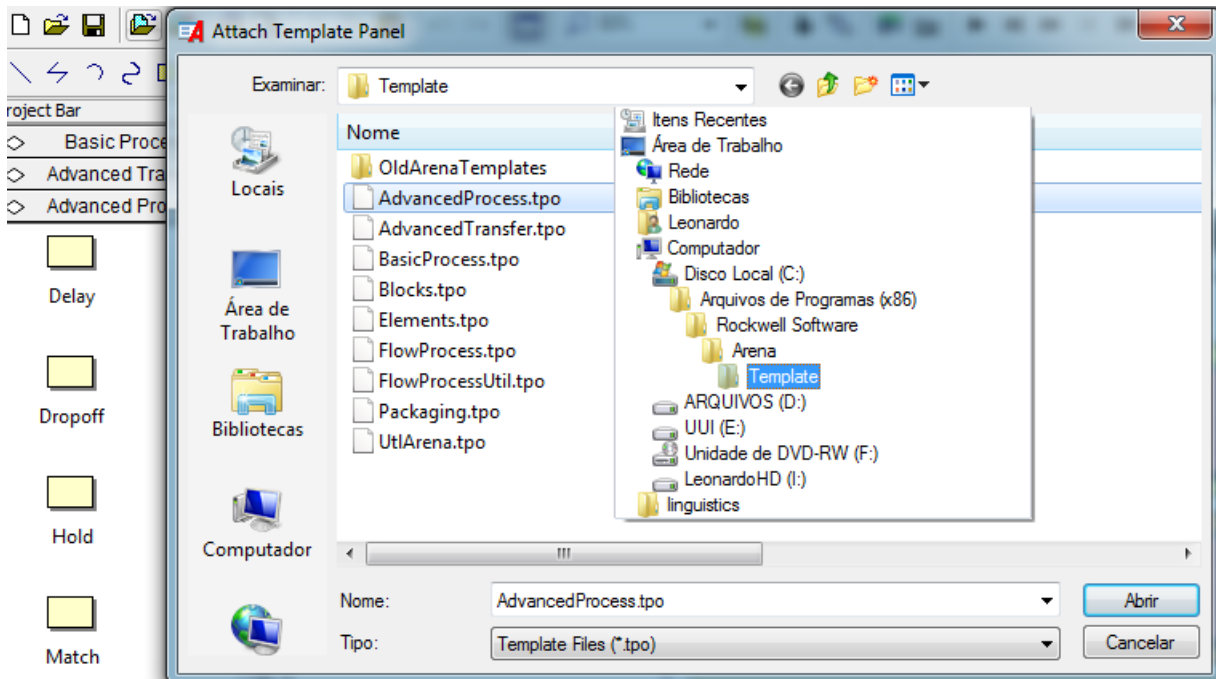
1.3 Escolha entre cabines de mesmo tipo

- Entre cabines MOEDA1 e MOEDA2: a de menor fila
- Entre cabines TROCO1 e TROCO2: a de menor fila
- A cabine TROCO1 só abre entre 6h-9h e 16h-19h

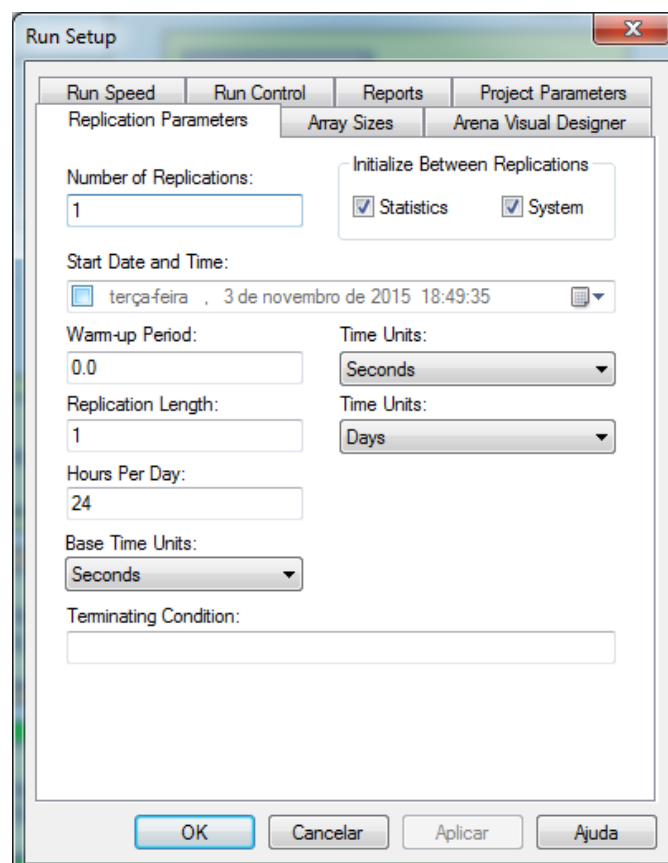
2 Passo a passo no Arena

Obs: usada a versão 14.70 do Arena.

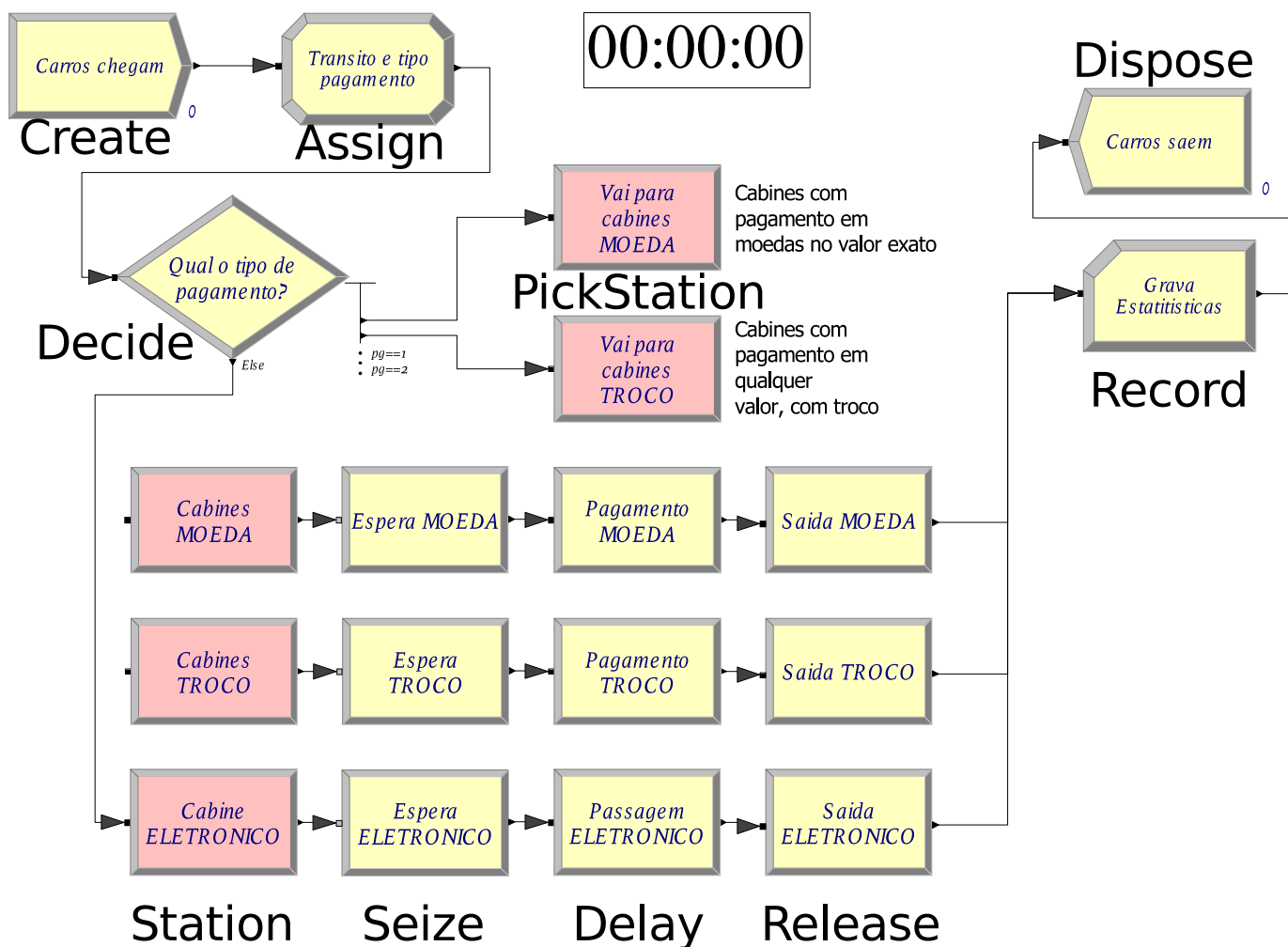
PASSO 1. Verifique se os painéis “Advanced Process” e “Advanced Transfer” aparecem na lateral esquerda do Arena. Caso não estejam presentes, adicione-os ao projeto clicando no botão “Template Attach” ().



PASSO 2. Configurar unidades de tempo no menu “Run” → “Setup...”, como na figura. Observe que o tempo total da simulação “Replication Length” está em dias, mas pode-se configurar em segundos (no caso, 1 dia = 86.400 seg).



PASSO 3. Montar visão geral do modelo, como na figura. Crie os blocos de acordo com seus tipos e os nomeie de acordo com a figura. As ligações entre blocos são feitas com o ícone “Connect” (🔗) localizado nas barras superiores.



Tipos de bloco:

- **Create:** “cria” as entidades (carros)
- **Assign:** muda propriedades da entidade
- **Decide:** bloco tipo “se... então ...”
- **PickStation:** encaminha o carro para uma cabine no conjunto de cabines, respeitando critérios (menor fila por exemplo)
- **Station:** estrutura que cria as cabines, ou conjunto delas
- **Seize:** ocupa um recurso (coloca o carro na fila da cabine, ocupando-a)
- **Delay:** mantém o recurso ocupado por um tempo segundo uma probabilidade (retém o carro na fila)
- **Release:** libera um recurso (retira o carro da fila)
- **Record:** grava estatísticas em variáveis definidas pelo usuário
- **Dispose:** destrói o carro da simulação

PASSO 4. Na aba “Basic Process” definir

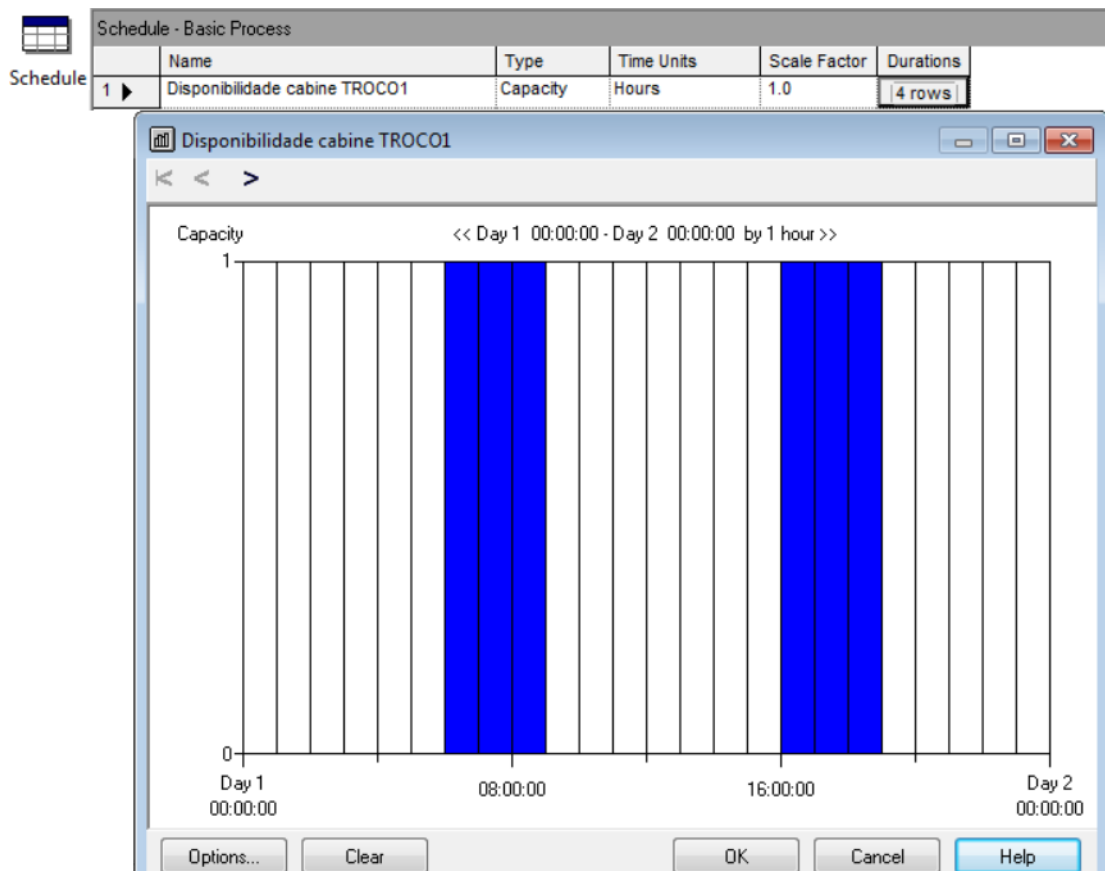
- Atributos (“Attribute”): estes são os atributos de cada entidade (carro). São *cabine* (cabine escolhida pelo carro), *pg* (tipo de pagamento), *t* (tempo de chegada do carro)

Attribute - Basic Process					
	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1 ▶	pg			Real	0 rows
2	t			Real	0 rows
3	cabine			Real	0 rows

- Filas (“Queue”): estas são as filas de cada cabine, que chamaremos de *Fila MOEDA1*, *Fila MOEDA2*, *Fila TROCO1*, *Fila TROCO2*, *Fila ELETRONICO*

Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1 ▶	Fila MOEDA1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Fila MOEDA2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Fila TROCO1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Fila TROCO2	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Fila ELETRONICO	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

- Agenda (“Schedule”): aqui configura-se a disponibilidade da cabine *TROCO1* (veja seção 1.3). Marque em azul os horários de funcionamento da cabine *TROCO1* como na figura



- Recursos (“Resource”): estes são os funcionários de cada cabine, que denotaremos por *Caixa MOEDA1*, *Caixa MOEDA2*, *Caixa TROCO1*, *Caixa TROCO2* e *Caixa ELETRONICO*. Note que a agenda de *Caixa TROCO1* é escolhida como a agenda definida no item anterior

Resource - Basic Process											
Resource	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Caixa MOEDA1	Fixed Capacity	1		Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Caixa MOEDA2	Fixed Capacity	1		Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input type="checkbox"/>
3	Caixa TROCO1	Based on Schedule	Disponibilidade cabine TROCO1	Disponibilidade cabine TROCO1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input type="checkbox"/>
4	Caixa TROCO2	Fixed Capacity	1		Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input type="checkbox"/>
5	Caixa ELETRONICO	Fixed Capacity	1		Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input type="checkbox"/>

- Variável global (“Variable”): definir a variável *periodo*, que representará o período do dia que a simulação se encontra. Esta servirá para definir a frequência de carros que varia durante o dia

Variable - Basic Process								
Variable	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	periodo			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>

- Conjuntos (“Set”): *Caixas TROCO* (conjunto dos caixas *TROCO1* e *TROCO2*, tipo *Resource*), *Caixas MOEDAS* e *Estatísticas*

PASSO 5. Definir os conjuntos de filas para as cabines de mesmo tipo. Para isto, ir em “Advanced Process” → “Advanced Set”.

Advanced Set - Advanced Process		
	Name	Set Type
1	Filas cabines MOEDAS	Queue
2	Filas cabines TROCO	Queue

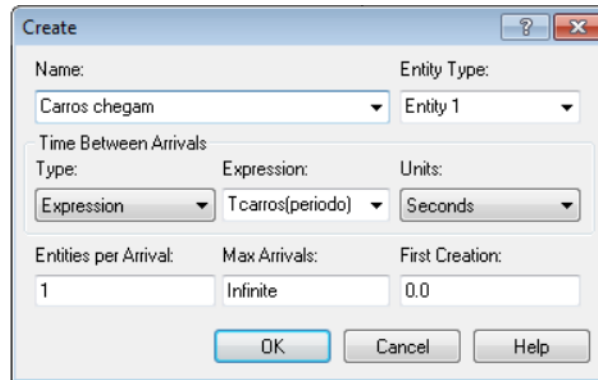
Members	
	Queue Name
1	Fila MOEDA1
2	Fila MOEDA2

PASSO 6. Definir tempos de chegada dos carros. Para isso, deve definir a função “Tcarros” na aba “Advanced Process” → “Expression”.

Expression - Advanced Process						
	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1	Tcarros	5		Real		5 rows

Expression Values	
1	8+GAMM(4.4, 4.12)
2	TRIA(1.32, 1.57, 1.76)
3	2.64+WEIB(0.82, 4.5)
4	TRIA(1.32, 1.57, 1.76)
5	4.2+GAMM(0.87, 8.24)

PASSO 7. Configurar a criação de carros “Carros chegam”. Escolha SEGUNDOS como unidade de tempo, a expressão $T_{carros}(periodo)$ como tempo entre chegadas, e 1 entidade por intervalo.

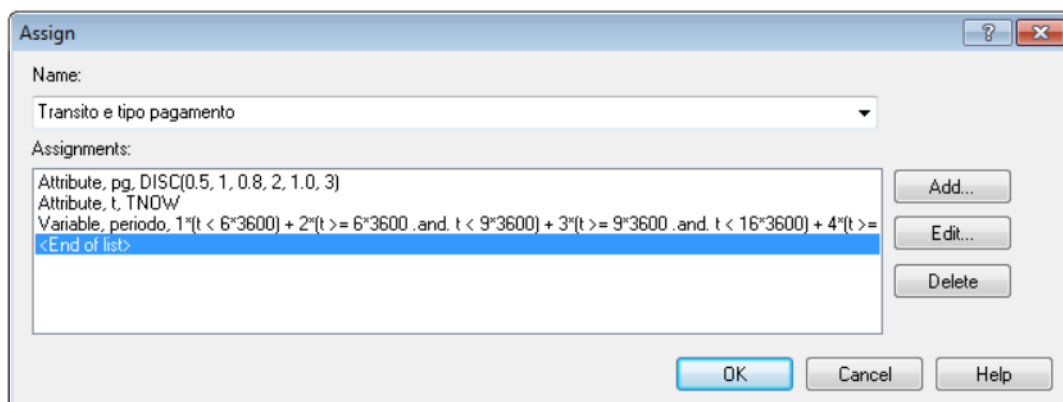


PASSO 8. Configurar atribuições “Transito e tipo de pagamento”. Atribua o seguinte, NA ORDEM:

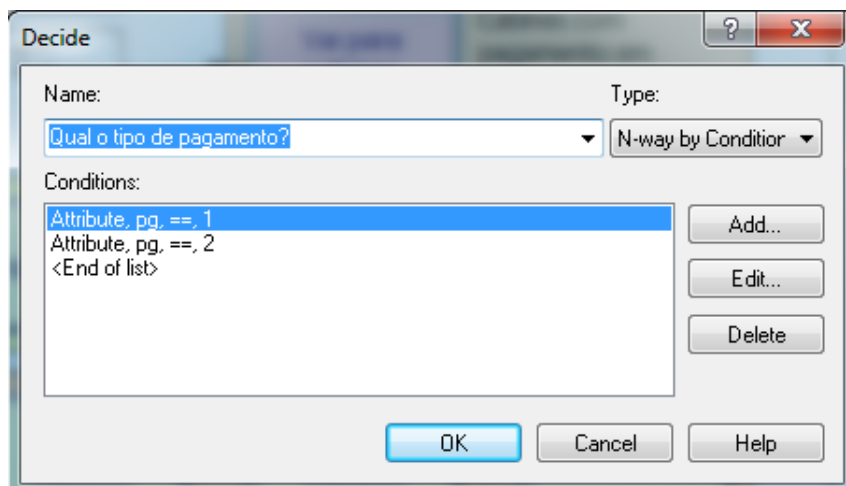
- Atributo pg igual a $DISC(0.5, 1, 0.8, 2, 1.0, 3)$. Isso representa as porcentagens de cada tipo de pagamento (subseção 1.1). Funciona da seguinte forma: sorteia-se um número $\mu \in [0, 1]$.
 - se $\mu \in [0, 0.5]$ então $pg = 1$ (tipo MOEDA);
 - se $\mu \in (0.5, 0.8]$ então $pg = 2$ (tipo TROCO);
 - se $\mu \in (0.8, 1]$ então $pg = 3$ (tipo ELETRONICO).
- Atributo t igual a $TNOW$ (tempo atual em segundos).
- Variável $periodo$ igual a

$$\begin{aligned}
 &1 * (t < 6 * 3600) + 2 * (t \geq 6 * 3600 \text{ .and. } t < 9 * 3600) \\
 &\quad + 3 * (t \geq 9 * 3600 \text{ .and. } t < 16 * 3600) \\
 &\quad + 4 * (t \geq 16 * 3600 \text{ .and. } t < 19 * 3600) + 5 * (t \geq 19 * 3600)
 \end{aligned}$$

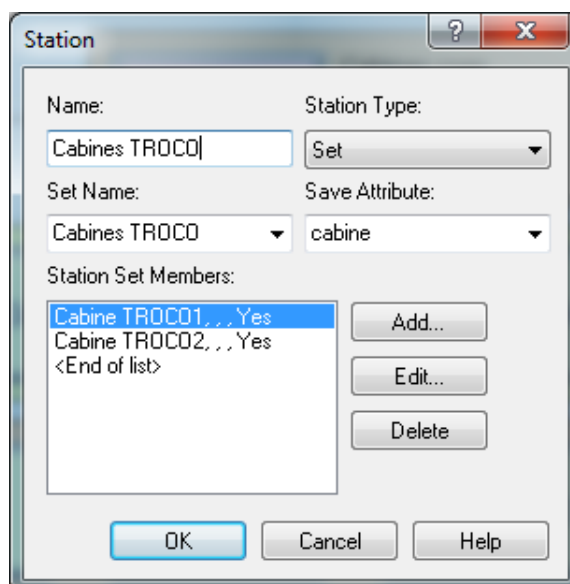
O Arena entende a expressão acima da seguinte forma: cada parcela $i * (expressao)$ soma i se $expressao$ for verdadeira. Você pode perceber que a expressão condiz com o requerido na subseção 1.2, convertendo horas em segundos (a unidade padrão). Como t é o tempo atual, o período será atualizado de acordo com a evolução da simulação.



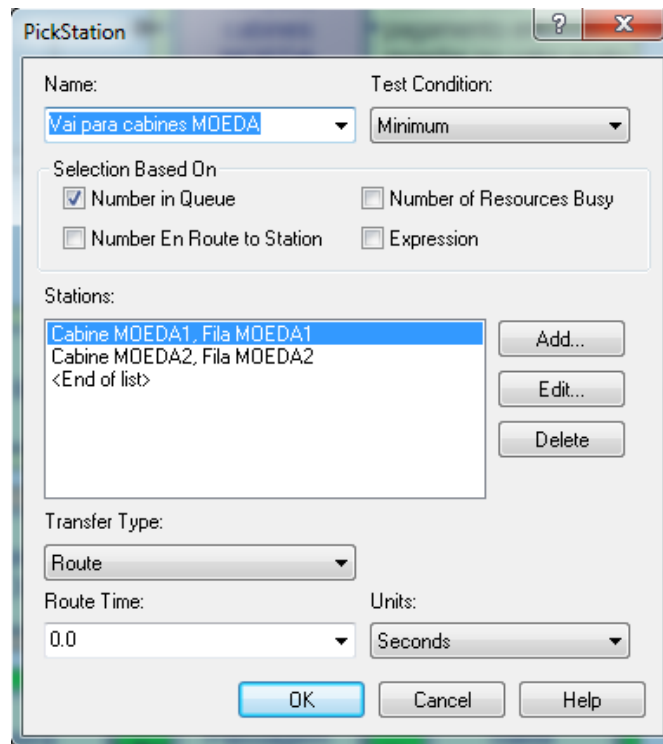
PASSO 9. Configurar “Qual o tipo de pagamento?” como na figura. A ordem aqui é importante. Lembre-se do que cada valor de *pg* representa.



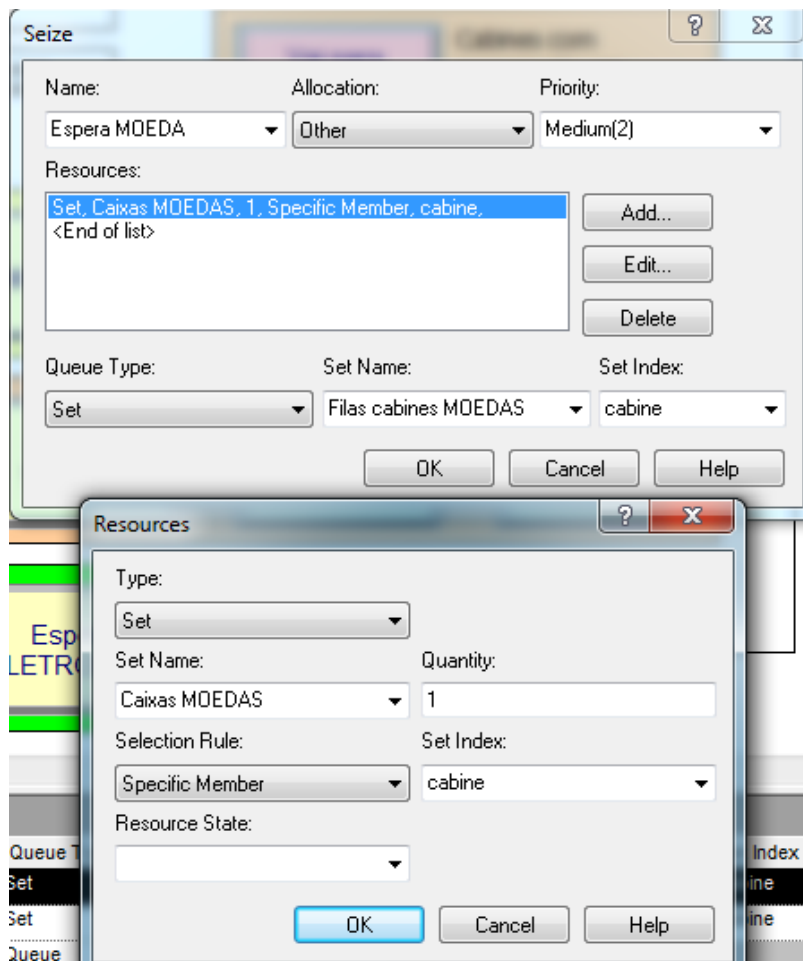
PASSO 10. Configure as estruturas *Station*. *Cabines MOEDAS* e *Cabines TROCO* serão definidas como *set* (figura). *Cabine ELETRONICO* consiste em uma única cabine, e o parâmetro *Station Type* será *Station*.



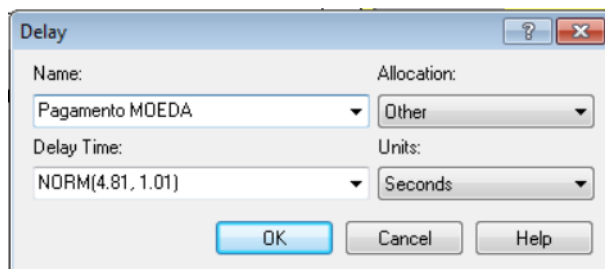
PASSO 11. Configure as estruturas *PickStation*. Abaixo está o exemplo para as cabines MOEDA. As cabines TROCO são configuradas de maneira análoga.



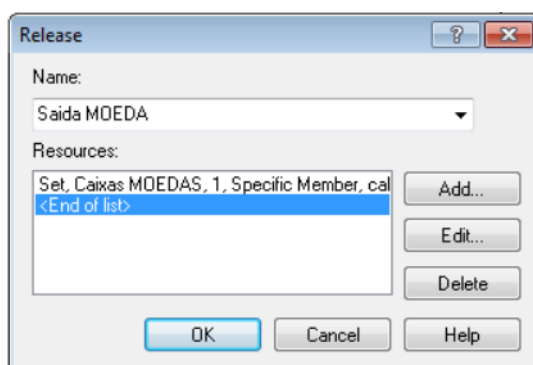
PASSO 12. Configurar as filas (estruturas *Seize*). Abaixo está o exemplo para as filas MOEDAS. O atributo *cabine* é usado aqui para guardar a cabine em que o carro está. No caso da fila ELETRONICO, trocar *Set* por *Resource*.



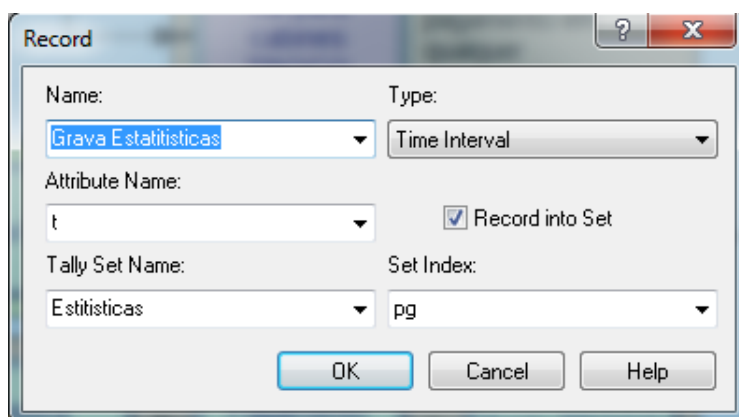
PASSO 13. Configurar as estruturas *Delay* em segundos, com as probabilidades da subseção 1.1 em *DelayTime*. A seguir um exemplo para *Pagamento MOEDA*:



PASSO 14. Configurar as estruturas *Release* colocando na aba *Resources*. A seguir exemplo para *Saida MOEDAS*.



PASSO 15. Configurar as *Record* para salvar no conjunto *Estatisticas* os tempos entre chegadas para cada tipo *pg*.



PASSO 16. “Carros saem” não necessita de configuração.

PASSO FINAL. Se tudo ocorreu bem, você pode iniciar a simulação pela barra de controle



Ao final, um relatório da simulação será apresentado.

Referências

[1] T. Altiock e B. Melamed. *Simulation modeling and analysis with Arena*. Academic Press, 2007.