

Fernanda Sayuri Yamasaki (fernandayamasaki@hotmail.com)  
 Prof. Dr. André Franceschi Angelis (andre@ceset.unicamp.br)  
 Órgão de Fomento: PIBIC-CNPq  
 Palavras-Chave: Falhas, redes e contenção de falhas

### Introdução

Os sistemas de telecomunicações são constituídos com ligações redundantes em suas redes. Esta redundância é proposital e tem por objetivo a absorção de falhas na operação da rede, de sorte que os usuários não sofram interrupções dos serviços. Paradoxalmente, estas mesmas redundâncias criam uma estrutura de rede vulnerável a falhas em cascata. Esta é uma situação na qual um elemento da rede propaga a seus vizinhos sua falha, através de redes de redistribuição de carga, levando-os a repetir indefinidamente o processo e a causar colapso geral do sistema. Episódios recentes mostraram a alta velocidade desta propagação nos sistemas elétricos e na Internet. Encontrar mecanismos para a interrupção do processo de cascata ou efeito dominó é de importância extrema para a manutenção dos sistemas em pauta.

### Metodologia e Desenvolvimento

Foi desenvolvido um simulador Java, de forma a se propor esquemas de contenção. Um autômato celular é um sistema dinâmico determinístico que consiste num vetor  $A$  de células idênticas que repetidamente mudam o seu estado ou cor de acordo com uma determinada regra de atualização. No caso do desenvolvimento deste projeto, utilizou-se a seguinte lógica: os autômatos podem estar em apenas um de três estados: operacional, sobrecarga ou falha. Considerando o caso sem retenção alguma, a falha se espalha de tal forma que o sistema entra em colapso, apontando poucos e instáveis nós operacionais em reduzidos intervalos de tempo, como simulado na Figura 2. Uma primeira proposta de retenção é o estado desligado. Ou seja, quando um autômato se encontrar no estado falha, ele simplesmente vai desligar enquanto é consentado, se por um lado ele não é mais operacional, por outro lado ele também não propaga a falha. Este tipo de comportamento é ilustrado na Figura 3. Uma segunda proposta é o método standby: a cada grupo de interligações de células existe uma célula que não possui nenhum dos três estados clássicos (operacional, sobrecarga e falha), na verdade ela funciona como uma célula de fuga, que engloba a sua região. Na Figura 4 percebe-se que existe um número muito grande destas células de fuga, mais precisamente o equivalente a um quarto do sistema como um todo, o que sugere a ineficiência do sistema.

### Resultados

Foram feitas 10 simulações do funcionamento visto de três formas: o sistema final sem retenção, o sistema final com retenção de desligamento e o sistema de retenção por Standby. As simulações foram feitas coletando os valores gerados pelo último ciclo do sistema (no caso o de número 128).

### Discussão

O método denominado Standby, a princípio imaginou-se ser realmente muito eficiente, apesar de sua aparente inviabilidade devido ao custo de infraestrutura. Porém, após a coleta de resultados gerados pelas simulações, demonstrados na Tabela 3, concluiu-se que além de ser um método inviável, também é extremamente ineficaz, pois não retém a falha, além de em alguns casos até mesmo propagá-la. O método denominado desligamento, que é aplicado a qualquer estado sobrecarga e/ou falha, foi eficaz. Os resultados como demonstrados na Tabela 2, mostram que o objetivo de reter a falha foi atingido. E que como a quantidade de células desligadas é muito inferior à quantidade operacional, é algo realmente viável e interessante.

### Conclusão

Objetivo deste trabalho foi atingido, pois as falhas em cascata nas redes complexas de telecomunicações são uma situação real, e foi interessante poder modelar seu funcionamento através de autômatos celulares. A proposta foi cumprida, pois sugeriu-se, modelou-se e implementou-se mecanismos de retenção das falhas ocorridas, alcançando um resultado positivo.

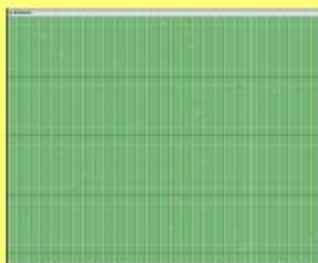


Fig 1 – Simulação do autômato celular bidimensional, onde a cor verde é Operacional, a cor amarela é sobrecarga e a vermelha é Falha

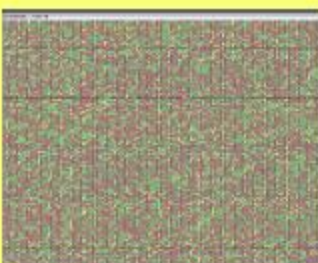


Fig 2 – Simulação do autômato celular bidimensional sem contenção



Fig 3 – Simulação do autômato celular com retenção por desligamento, onde a cor preta é desligada

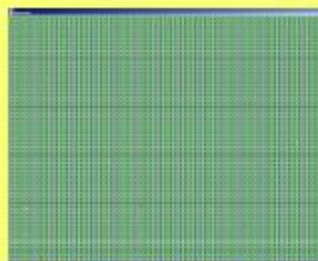


Fig 4 – Simulação do autômato celular com retenção por standby representado pela cor azul.

	Operacional	Falha	Sobrecarga	StandBy	Total
Simulação 1	5128	9307	1949	0	16384
Simulação 2	5175	9285	1924	0	16384
Simulação 3	5008	9242	1934	0	16384
Simulação 4	5129	9373	1882	0	16384
Simulação 5	5069	9379	1936	0	16384
Simulação 6	5182	9261	1941	0	16384
Simulação 7	5136	9222	2026	0	16384
Simulação 8	5137	9242	2005	0	16384
Simulação 9	5109	9315	1960	0	16384
Simulação 10	5204	9231	1949	0	16384
Média	5147,7	9285,7	1950,8	0	16384
Desvio Padrão	43,98	58,88	40,68	0	0

Tabela 1 – Simulação sem retenção

	Operacional	Falha	Sobrecarga	StandBy	Desligado	Total
Simulação 1	16349	0	0	0	35	16384
Simulação 2	16325	0	0	0	59	16384
Simulação 3	16336	0	0	0	48	16384
Simulação 4	16296	0	0	0	88	16384
Simulação 5	16333	0	0	0	51	16384
Simulação 6	16337	0	0	0	47	16384
Simulação 7	16312	0	0	0	72	16384
Simulação 8	16313	0	0	0	71	16384
Simulação 9	16313	0	0	0	71	16384
Simulação 10	16294	0	0	0	90	16384
Média	16320,8	0	0	0	63,2	16384
Desvio Padrão	18,22	0	0	0	18,22	0

Tabela 2 – Simulação com retenção por desligamento

	Operacional	Falha	Sobrecarga	StandBy	Total
Simulação 1	5569	9010	1805	0	16384
Simulação 2	5347	9319	1718	0	16384
Simulação 3	5318	9231	1835	0	16384
Simulação 4	5485	9061	1838	0	16384
Simulação 5	5421	9103	1860	0	16384
Simulação 6	5578	8971	1837	0	16384
Simulação 7	5498	9044	1854	0	16384
Simulação 8	5442	9044	1898	0	16384
Simulação 9	5463	9164	1757	0	16384
Simulação 10	5637	8958	1789	0	16384
Média	5474,4	9090,5	1810,1	0	16384
Desvio Padrão	100,38	115,96	52,95	0	0

Tabela 3 – Simulação com retenção por Standby

### Referências Bibliográficas

- Models of the Small World – M. E. J. Newman;
- Redes Complexas Prof. Dr. André Franceschi de Angelis;
- Exploring complex networks – Steven H. Strogatz;
- Error and attack tolerance of complex networks – Réka Albert, Hawoong Jeong e Albert – László Barabási;
- Error and attack tolerance of complex networks – Réka Albert, Hawoong Jeong, Albert – László Barabási;
- The structure and function of complex networks – M. E. J. Newman;
- Model for cascading failures in complex networks – Paolo Cruciani, Vito Latora e Massimo Marchiori;
- Complex Network Phenomena in Telecommunication Systems – Laurie A. Schintler, Sean P. Gorman, Anna Reggiani, Roberto Patuelli, Andy Gillespie, Peter Nijkamp, Jonathan Rutherford;