

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

IMPLEMENTAÇÃO DE REDES DE PETRI NA ANÁLISE DE RESOLUÇÃO DE
ACIDENTES EM DUTOS

AUTORES:

Maria Gabrielle Rocha da Silva
Alexandre Henrique Soares de Oliveira
Rafael Alison de Souza Holanda
André Pedro Fernandes Neto.

INSTITUIÇÃO:

UFCG

IMPLEMENTAÇÃO DE REDES DE PETRI NA ANÁLISE DE RESOLUÇÃO DE ACIDENTES EM DUTOS

Abstract

This paper aims to demonstrate the implementation of Petri net modeling of the National Environmental Council Resolution, CONAMA, which is responsible for the Emergency Plan, triggered in case of pipeline accidents to identify process characteristics such as fluidity, dynamics, and identify potential bottlenecks and critical stages of the process. The Petri Net is a mathematical representation that can be simulated in software such as PIPE. It was identified through the simulations that the discrete system modeled from the emergency plane is fluid and lively, without any abnormal concentration in places, also called transitions inputs. It has been able to describe the process steps and characteristics in detail and can serve as a basis for future implementation of an algorithm for simulation study and automation project design in this area. It can be concluded that the Petri net has extensive utilization and great implementation potential both in emergency action and in other areas. Using it in the described situation allowed us to identify the crucial points of the emergency plan and analyze it broadly, identifying its main points of activity.

Introdução

O processo de produção do petróleo consiste na prospecção, perfuração, extração e transporte. Este último, é feito por meio de oleodutos, gasodutos, navios-petroleiros e terminais marítimos até as refinarias e indústrias (BRASIL, 2015). Por meio de oleodutos e gasodutos, o transporte torna-se mais eficiente e seguro.

Diante da crescente exploração *offshore* no país, que em 2012 alcançou a marca de 90 sondas em operação na costa brasileira, a utilização de gasodutos e oleodutos para movimentação de petróleo, seus derivados e gás natural são pontos essenciais na logística do processo da indústria petrolífera; um incidente pode acarretar prejuízos, transtornos operacionais, contaminações ambientais, incêndios e explosões (ALMEIDA, 2017). Deve-se considerar que o transporte dutoviário é concebido para percorrer longas distâncias, por áreas onde estão sujeitos a variações do meio, movimentação do solo e à ação de terceiros, intensificando ainda mais os riscos (ANP, 2015).

Com um alto histórico de falhas ocorridas tanto no Brasil, como é o caso dos vazamentos no duto PE-II, que interliga a Refinaria Duque de Caxias (REDUC) às instalações dos Dutos e Terminais do Sudeste-DTSE / Ilha D'Água (GEGUA); no Gasoduto PCR-01/Lubnor; e na plataforma P-55 que fica a 2,3 km no campo de Roncador; quanto em outros países como Estados Unidos, que com estatísticas divulgadas pela PHMSA apontam uma média de 521 acidentes por ano em dutos no país; (ANP, 2015).

A ANP possui requisitos para autorização e/ou permissão de construção e operação de sistemas submarinos, onde no artigo 44 da Lei 9.478/1997 há previsão para que os concessionários adotem “medidas necessárias para a conservação de reservatórios e de outros recursos naturais, para a segurança das pessoas e dos equipamentos e para a proteção do meio ambiente”. Porém, foi identificado que apesar disso, os dispositivos normativos são insuficientes para obtenção dos resultados pretendidos em relação à segurança operacional e à proteção do meio ambiente (ANP, 2015).

Com a necessidade de iniciativas que possuem como finalidade a diminuição dos índices de incidentes em dutos, este trabalho tem como prerrogativa a implementação do Sistema de Redes de Petri, no processo de execução de planos de emergência pós incidentes.

As redes de Petri são um modelo matemático com representação gráfica que vem sendo amplamente utilizado, há mais de 30 anos, em vários domínios de atuação, entre os quais destacam-se os sistemas de manufatura, de comunicação, de transporte, de informação, logísticos e, de forma geral, todos os sistemas a eventos discretos. Especificar, analisar o comportamento lógico, avaliar o desempenho e implementar esses tipos de sistemas são as principais motivações para o uso da Rede de Petri (CARDOSO; VALETTE, 1997).

Assim, com os Sistema de Redes de Petri, busca-se um melhoramento e agilidade no processo de tomada de decisões com a mecanização deste processo no âmbito operacional de segurança dos dutos, trazendo uma discreta, porém louvável, diminuição dos riscos nestas operações.

Informações foram coletadas a partir de levantamentos teóricos bibliográficos. Utilizando-se como material base para o modelamento normas e notas técnicas referentes a segurança de tubulações disponibilizadas pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) e resoluções da CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente).

O método proposto nesta pesquisa para a modelagem está caracterizado como estudo de caso, uma vez que ela aborda o ambiente situacional do cumprimento das normas técnicas em casos de acidentes e implementando-as em sistemas de simulação em rede de Petri. A modelagem e análise desenvolvida neste trabalho foram desenvolvidas no editor “PIPE” (NAKAMURA et al., 1997). Será feito um grafo por meio do PIPE onde o software simulará todo o processo desde o acidente até o estudo de causa e consequência por meio de rede de Petri que faz uma análise de eventos discretos. A modelagem do sistema de redes de Petri seguirá o modelo de implementação proposto por Cardoso e Valette (1997). Com isto, a metodologia da pesquisa consistirá em: estudo teórico, descrição do processo, elaboração do fluxograma, desenvolvimento da rede de Petri, além da análise da rede e avaliação do processo.

Metodologia

Rede de Petri

A Rede de Petri é uma representação para eventos discretos que possui uma forte base matemática. Diferente dos tradicionais processamentos de dados, ela pode abrigar mais de um *token*. A representação gráfica de uma rede de Petri básica é formada por dois componentes: um ativo chamado de transição e outro passivo chamado lugar. Os lugares são os estados e os e as transições são as atividades realizadas.

Os principais conceitos trabalhados na Rede de Petri são de: eventos, que são instantes de observação de mudança de estado do sistema; o conceito de atividades, chamadas de caixas-pretas por serem utilizadas para recuperar e esconder a evolução do sistema físico entre dois eventos; além do conceito de processos, que são sequências de eventos e atividades interdependentes. Pode-se exemplificar que um processo provoca uma atividade, que provoca um evento de fim de atividade, que por sua vez pode provocar uma outra atividade e assim por diante (CARDOSO; VALETTE, 1997).

Uma rede de Petri consiste em posições, transições e arcos direcionados. Os arcos interligam transições e posições. A posições de entrada de uma transição são aquelas as quais um arco se destina; enquanto as posições de saída são aquelas das quais um arco se origina. Não se pode conectar posições e posições ou transições e transições (CARDOSO; VALETTE, 1997).

Na análise será o utilizada a definição de evento discreto, como consistindo na modelagem e operação de um sistema como uma sequência de eventos discretos no tempo. Cada evento ocorre em um determinado instante de tempo e marca uma mudança de estado no sistema. Entre eventos consecutivos, considera-se que o sistema não sofre mudança alguma, assim, a simulação pode saltar diretamente do instante de ocorrência de um evento para o próximo (CARDOSO; VALETTE, 1997).

A utilização destas simulações permite ter uma ideia geral do processo sem que seja necessário dispor em prática todo o seu sistema, consequentemente diminuindo custos e permitindo uma visão geral da atividade e seus problemas. Para se obter mais informações sobre as atividades e eventos do comportamento dinâmico da rede interpretada é necessário simulá-la. Por meio da simulação pode-se analisar os comportamentos das possibilidades previstas (CARDOSO; VALETTE, 1997).

Acidentes em dutos

A movimentação de petróleo, gás natural e seus derivados é uma atividade perigosa, devido à sua natureza volátil e não biodegradável dos produtos. Derramamentos podem ocorrer em decorrência de falhas estruturais nas instalações, falhas de terceiros, falhas humanas na execução de procedimentos, erros de análise ambientais, geológicas e geotécnicas (CARDOSO, 2007).

A ausência ou inadequação nos procedimentos de segurança pode ocasionar derreamentos, explosões, incêndios e outros acidentes envolvendo a força de trabalho, que ocasiona danos ambientais, à vida e humana e percas financeiras. Em suma, os acidentes com dutos de petróleo e derivados são eventos inesperados que afetam direta ou indiretamente a segurança e a empresa, podendo causar impactos significativos ao meio ambiente, com elevado custo associado, com lançamento no mar de quantidades significativas de fluidos, dispersados pelas correntes marítimas e pelas correntes de ar. Além disso, podem prejudicar direta ou indiretamente a população que vive no litoral das áreas atingidas (ANP 2015).

Processo de desenvolvimento do modelo

A partir da resolução do CONAMA no 398, de 11 de junho de 2008 pode-se visualizar a cadeia de plano emergencial após o desastre como, (BRASIL, 2008):

1. Identificação da instalação: deverão constar informações básicas sobre a instalação;
2. Cenários acidentais: nesta seção, deverá constar a definição dos cenários acidentais com a indicação do volume do derramamento e do provável comportamento e destino do produto derramado;
3. Informações e procedimentos para resposta: nesta seção, deverão constar todas as informações e procedimentos necessários para resposta a um incidente de poluição por óleo;
 - 3.1. Sistemas de alerta de derramamento de óleo: Nesta seção, deverão estar descritos os procedimentos e equipamentos utilizados para alerta de derramamento de óleo;
 - 3.2. Comunicação do incidente: Esta seção deverá conter a lista de indivíduos, organizações e instituições oficiais que devem ser comunicadas no caso de um incidente de poluição por óleo;
 - 3.3. Estrutura organizacional de resposta: Nesta seção, deverá constar a estrutura organizacional de resposta a incidentes de poluição por óleo para cada cenário acidental considerado, incluindo pessoal próprio e contratado;
 - 3.4. Equipamentos e materiais de resposta: Nesta seção, deverão estar relacionados os equipamentos e materiais de resposta a incidentes de poluição por óleo;
 - 3.5. Procedimentos operacionais de resposta: Nesta seção, deverão estar descritos todos os procedimentos de resposta previstos para controle e limpeza de derramamento de óleo para cada cenário acidental considerado.
4. Encerramento das operações: Deverão constar desta seção:
 - a) critérios para decisão quanto ao encerramento das operações;
 - b) procedimentos para desmobilização do pessoal, equipamentos e materiais empregados nas ações de resposta;
 - c) procedimentos para definição de ações suplementares
5. Mapas, cartas náuticas, plantas, desenhos e fotografias: deverão constar desta seção todos os mapas, cartas náuticas, plantas, desenhos e fotografias;
6. Anexos: nesta seção, deverão estar incluídas informações complementares ao Plano de Emergência Individual.

Resultados e Discussões

A partir destes, serão simulados por meio de *software* para obtermos todo o processo simulado a fim de trazer informações acerca da sua vivacidade. Na Figura 1 é mostrado fluxograma do processo.

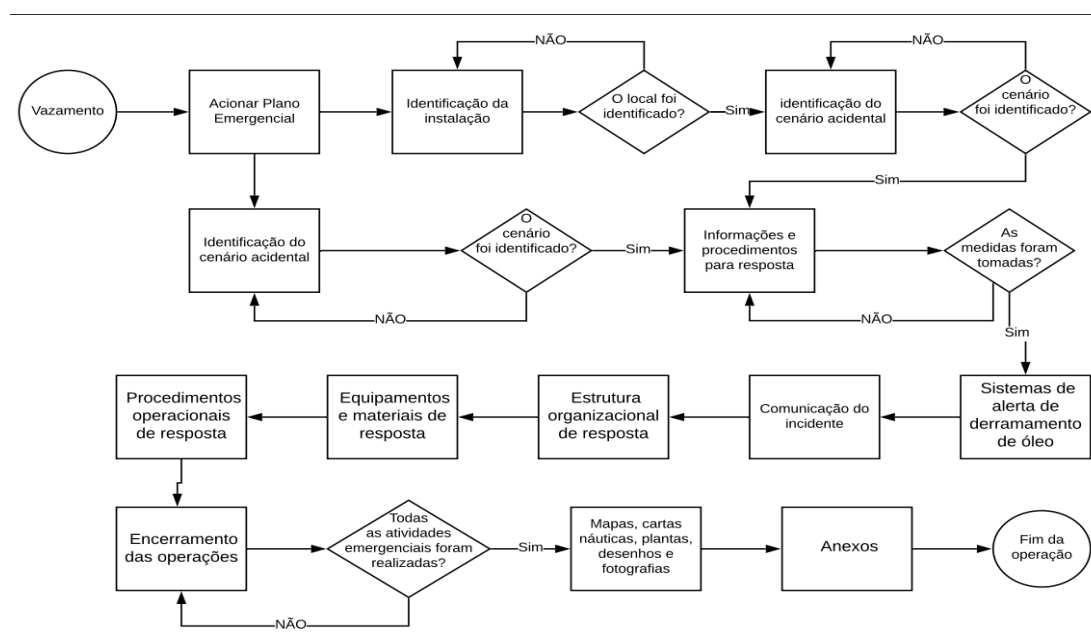


Figura 1 . Fluxograma do processo

Na Figura 1 é mostrado o fluxograma esquemático de todo o procedimento desde o vazamento, até a documentação final pós procedimentos padrões emergenciais. Nos Quadros 1 e 2 são identificados cada local e cada transição, respectivamente, utilizados na simulação.

Quadro 1. Identificação dos locais da Rede de Petri.

P0	Vazamento
P1	Identificação da instalação
P2	Cenários acidentais
P3	Cenários acidentais
P4	Informações e procedimentos para resposta
P5	Sistemas de alerta de derramamento de óleo
P6	Comunicação do incidente
P7	Estrutura organizacional de resposta
P8	Equipamentos e materiais de resposta
P9	Procedimentos operacionais de resposta
P10	Encerramento das operações
P11	Mapas, cartas náuticas, plantas, desenhos e fotografias
P12	Anexos

Quadro 2. Identificação de transições da Rede de Petri.

T0	Acionamento do Plano de Emergência individual
T1	Informações básicas sobre a instalação
T2	Identificação do cenário acidental
T3	Identificação do cenário acidental
T4	Resposta ao acidente
T5	Procedimentos de alerta do derramamento de petróleo
T6	Comunicar no caso de um incidente de poluição por óleo
T7	Procedimentos de resposta para cada cenário acidental
T8	Uso de equipamentos e materiais de resposta
T9	Procedimentos de resposta
T10	Encerramento da ação de resposta
T11	Formulação de mapas topográficos
T12	Documentos conclusivos do acidente

No Quadro 1 é demonstrado os lugares seguindo o plano emergencial da CONAMA, nele identifica-se doze lugares no qual serão simulados a seguir. No Quadro 2 são identificadas as transições, possuindo doze transições conforme transcrição do plano emergencial para estrutura da rede de Petri. A estrutura da rede de Petri simulada é mostrada na Figura 2:

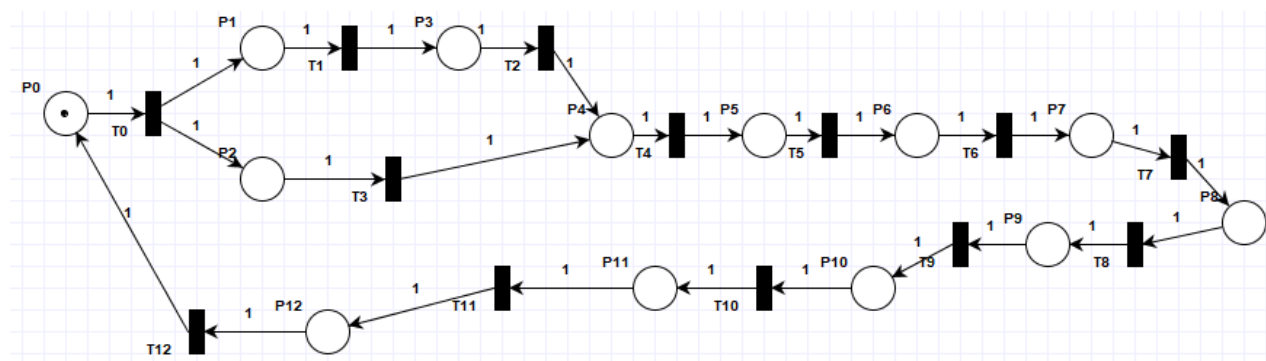


Figura 2. Rede de Petri do processo

Pode-se concluir por meio da Rede de Petri mostrada na Figura 2 que a etapa de identificação da instalação e cenário acidental podem ocorrer simultaneamente, mas nunca isoladamente. Na Tabela 3 são mostrados os resultados da simulação quanto ao número de médio de tokens e o intervalo de confiança da presença de tokens em cada lugar da Rede de Petri:

Quadro 3. Resultados da simulação

Lugar	Número médio de <i>tokens</i>	Intervalo de confiança de 95% (+/-)
P0	0,11881	0,19421
P1	0,25743	0,30771
P2	0,23762	0,17156
P3	0,19802	0,04526
P4	0,59406	0,33848
P5	0,50495	0,19498
P6	0,40594	0,76571
P7	0,38614	0,10657
P8	0,58416	0,30952
P9	0,37624	0,17383
P10	0,19802	0,11355
P11	0,13861	0,20994
P12	0,51485	0,35222

No Quadro 3 é mostrado que o número médio de tokens por lugar varia ao longo da rede; além de demonstrar que o valor do intervalo de confiança para a presença de tokens em cada lugar da rede tende a ser 0 (zero) em 95% das iterações da simulação, isto demonstra que não há sobrecarga em nenhum dos locais modelados na Rede de Petri. Mostrando assim que o sistema é fluído, vivaz e sem sobrecargas em seu processo.

Conclusões

Este trabalho apresentou um modelo a eventos discretos do Plano Emergencial de vazamentos em Redes de Petri que, além de ser capaz de descrever detalhadamente as etapas e características do processo, servirá de base para futuros estudos na área de algoritmo, simulação, sistema flexível de manufatura, além de projetos de automação.

A Rede de Petri permite uma visualização esquemática e sistêmica para o acompanhamento da dinâmica do processo de tomada de decisão das atividades emergenciais, de localização, procedimento de resposta, encerramento de atividades, por exemplo, que possuem características predominantemente discretas. Para objetos de natureza híbrida, com forte influência humana, como é o caso das transições, a rede de Petri pode representá-los de forma global, inserida no contexto de sistemas discretos.

A partir das informações anteriormente apresentadas, pode-se concluir que a rede de Petri possui ampla utilização e grande potencialidade de implementação. Utilizá-lo na situação descrita permitiu identificar os pontos cruciais do plano emergencial e analisá-lo de forma ampla, identificando seus principais pontos de atividade. Este trabalho possui a iniciativa de difundir a vasta utilização da rede de Petri para todas as demandas de processos que possam ser descritos em eventos discretos, auxiliando assim, todas as cadeias produtivas.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. N° 132/SSM/2015: Análise de Impacto Regulatório sobre Regulação de Sistemas Submarinos. Rio de Janeiro: Anp, 2015. 41 p. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi0pLGxtdLiAhUoIbKGHcxrA_wQFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.anp.gov.br%2Fimages%2Fconsultas_publicas%2FConcluidas%2F2015%2Fn12%2FNota_Tecnica_no.132SSM2015.doc&usg=AOvVaw03ThgG3GN7PBHtxIpsHPWn>. Acesso em: 05 maio 2015.

ALMEIDA, Edmar de. **Petrobras, pré-sal, preço do petróleo, setor de petróleo Estão dadas as condições para a retomada do setor de petróleo e gás no Brasil?** 2017. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/tag/setor-de-petroleo/>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BRASIL, Cristina Indio do. **Produção média de petróleo no Brasil cai 1% em fevereiro.** 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-03/producao-media-de-petroleo-no-brasil-cai-1-em-fevereiro>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

_____. CONAMA. . **714 RESOLUÇÕES DO CONAMA****RESOLUÇÕES DO CONAMA**
714RESOLUÇÕES DO CONAMA**RESOLUÇÕES DO CONAMA** **RESOLUÇÃO CONAMA no**
398, de 11 de junho de 2008. 2008. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_398.pdf>. Acesso
em: 11 jun. 2008.

_____. PETROBRAS. Anp. **O Caminho do Petróleo.** 2015. Disponível em:
<<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

CARDOSO, Anelise Menezes. **SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA PLANEJAMENTO E**
RESPOSTA A INCIDENTES DE POLUIÇÃO MARÍTIMA POR DERRAMAMENTO DE
PETRÓLEO E DERIVADOS. 2007. Disponível em:
<<https://saopelotas.furg.br/images/stories/documentosderefencia/dissertao%20sig%20para%20respo%20a%20incidentes.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

CARDOSO, Janette; VALETTE, Robert. **Redes de Petri.** Florianópolis: Editora da Ufsc, 1997. 135p.