



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

Flávio Henrique Souza Santos

**SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY* PARA
CLASSIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
GERADOS POR POSTOS REVENDADORES DE
COMBUSTÍVEIS**

Recife
2015

Flávio Henrique Souza Santos

**SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY* PARA
CLASSIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
GERADOS POR POSTOS REVENDEDORES DE
COMBUSTÍVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais - Linha de Pesquisa: Modelagem e Simulação

Orientadora: Clarissa Daisy da Costa Albuquerque

**Recife
2015**

S237s

Santos, Flávio Henrique Souza

Sistema de inferência Fuzzy para classificação de impactos ambientais gerados por postos revendedores de combustíveis / Flávio Henrique Souza Santos ; orientador Clarissa Daisy da Costa Albuquerque, 2015.

87 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Coordenação Geral de Pós-graduação. Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2015.

1. Impacto ambiental - Recife, Região Metropolitana do (PE) - Estudo de casos. 2. Avaliação de riscos ambientais. 3. Petróleo - Derivados - Avaliação de riscos - Recife, Região Metropolitana do (PE). I. Título.

SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY* PARA CLASSIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS POR POSTOS REVENDADORES DE COMBUSTÍVEIS

FLÁVIO HENRIQUE SOUZA SANTOS

Examinadores:

**Profa. Dra. Clárisa Daisy da Costa Albuquerque
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP**

**Prof. Dr. Francisco Madeiro Bernardino Júnior
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP**

**Profa. Dra. Norma Buarque de Gusmão
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE**

Data da defesa: 06 de abril de 2015

Coordenadora: Clarissa Daisy da Costa Albuquerque

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, toda minha família e amigos pela compreensão e paciência durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa; também agradeço aos professores e mestres que nos indicaram o caminho das pedras para a conclusão da dissertação; agradeço também e, em especial, a minha esposa Fabiana Grego que sempre me apoiou nas minhas empreitadas.

Agradeço aos companheiros da 9ª turma do mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais que ajudaram, com mais ou menos intensidade, durante os dois anos do curso. Ao amigo Marcos Chaprão que se tornou o nosso especialista e consultor de assuntos relativos a postos revendedores de combustível, muito obrigado.

Agradeço também a minha orientadora Profa. Clarissa Daisy que mesmo cheia de atribuições, sempre teve paciência e empenho nas orientações no decorrer de todo o processo de desenvolvimento da ferramenta computacional.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| AGRADECIMENTOS | i |
| SUMÁRIO | ii |
| LISTA DE FIGURAS | iv |
| LISTA DE QUADROS E TABELAS | v |
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | vii |
| CAPÍTULO I | |
| 1.1 Introdução | 14 |
| 1.2 Objetivos | 16 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 16 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 1.3 Revisão da Literatura | 17 |
| 1.4 Referências Bibliográficas | 31 |
| CAPÍTULO II – Artigo Científico | 40 |
| Conclusões Gerais | 62 |
| ANEXOS | 63 |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1.1 | Mapa ilustra localização de alguns dos Postos Revendedores de Combustíveis na Região Metropolitana do Recife | 22 |
| Figura 1.2 | Fases de contaminação do solo | 26 |
| Figura 1.3 | Fluxograma de decisão para processo de remediação | 32 |
| Figura 1.4 | Número difuso e variável linguística | 35 |
| Figura 1.5 | Esquema de um sistema de inferência <i>fuzzy</i> | 35 |
| Figura 1.6 | Esquema das variáveis e índices envolvidos no sistema de inferência <i>fuzzy</i> | 40 |

CAPÍTULO II

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1. | Esquema básico de um Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i> (SIF) | 55 |
| Figura 2. | Estrutura das variáveis do Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i> para obtenção Índice de Impacto Ambiental por Vazamento em Postos Revendedores de Combustíveis (IIAV-PRC) | 56 |
| Figura 3. | (A) função de pertinência do tipo do contaminante; (B) função de pertinência volume vazado; (C) função de pertinência da área impactada; (D) função de pertinência do estado físico do contaminante; e (E) função de pertinência e variável de saída do índice do contaminante | 58 |
| Figura 4. | Superfícies de resposta das variáveis relacionadas com a formação do IC (A) relacionamento entre o tipo do contaminante e o volume vazado; (B) relacionamento entre o tipo do contaminante e a área impactada; (C) relacionamento entre o tipo e o estado físico do contaminante; (D) relacionamento entre a área impactada e o volume vazado; (E) relacionamento entre o volume vazado e o estado físico do contaminante; e (F) relacionamento entre o estado físico do contaminante e a área impactada..... | 62 |
| Figura 5. | Base de Regras para processo de Inferência para a obtenção do Índice de Impacto Ambiental do Contaminante (IC)..... | 63 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

CAPÍTULO I

| | | |
|------------|---|----|
| Quadro 1.1 | Principais características dos derivados de petróleo..... | 24 |
| Quadro 1.2 | Principais formas de contaminação por petróleo e derivados no meio ambiente | 24 |
| Quadro 1.3 | Atividades, fontes de contaminação e resíduos gerados em postos de serviço | 25 |
| Quadro 1.4 | Processos de proteção e controle conforme a causa da contaminação | 28 |
| Quadro 1.5 | Principais acidentes com derivados de petróleo..... | 29 |
| Quadro 1.6 | Métodos de remediação de áreas contaminadas | 30 |
| Quadro 1.7 | Técnica de descontaminação de áreas contaminadas..... | 31 |

CAPÍTULO II

| | | |
|-----------|---|----|
| Quadro 1. | Multas relativas aos passivos ambientais em PRC | 60 |
| Tabela 1. | Resultado da aplicação do IIAV-PRC ao estudo de caso de vazamento em PRC localizado na cidade de Abreu e Lima, Pernambuco, Brasil. | 61 |
| Tabela 2. | Resultado da aplicação do IIAV-PRC a dados obtidos de estudo de caso de vazamento de gasolina relatado na literatura | 64 |

RESUMO

Um sistema de inferência *fuzzy* (SIF) para avaliação do grau de impacto da contaminação ambiental gerada por vazamentos em Postos Revendedores de Combustíveis (PRC) foi desenvolvido neste trabalho. Para obtenção do Índice de Impacto Ambiental por Vazamento em Postos Revendedores de Combustíveis (IIAV-PRC) foram usadas dezessete variáveis linguísticas de entrada: tipo do contaminante, volume vazado, área impactada, estado físico do contaminante, existência de barreiras de contenção, topografia do terreno, emissão de gases, proximidade de rios/córregos, proximidade de poços artesianos, espessura do aquífero, precipitação anual, potencial de inundação, proximidade com áreas residenciais, proximidade com áreas comerciais, proximidade com áreas rurais e de agronegócio, proximidade de escolas e/ou creches e proximidade com áreas de preservação ambiental - agrupadas em índices parciais, de acordo com a fonte do contaminante, a propagação do contaminante e o local da contaminação. O método de inferência *fuzzy* de Mamdani foi utilizado para mapeamento das variáveis linguísticas de entrada e saída, usando uma base composta por 112 regras, baseada no conhecimento de especialistas e funções de pertinência triangulares. Quanto maior o IIAV-PRC - que varia entre 19,9 e 100 - maior o grau de contaminação da área estudada, indicando uma maior urgência no processo de decisão sobre a intervenção/remediação da área contaminada. O SIF desenvolvido foi utilizado com sucesso em estudo de caso de vazamento de 3.000 litros de óleo diesel, decorrente do rompimento da tubulação do sistema de abastecimento subterrâneo de combustível de um PRC, localizado na região metropolitana do Recife, estado de Pernambuco, Brasil, apresentando IIAV-PRC igual 63,7 - classificado como passivo ambiental grave. Os resultados obtidos sugerem que o IIAV-PRC pode ser utilizado - por órgãos fiscalizadores e/ou consultores e/ou arrendatários e/ou proprietários e/ou distribuidoras - como ferramenta de apoio à avaliação de impactos ambientais gerados por vazamentos em PRC e à tomada de decisões sobre ações de remediação das áreas impactadas.

Palavras-Chave: postos de combustíveis, lógica *fuzzy*, remediação, gasolina, óleo diesel

ABSTRACT

A fuzzy inference system (FIS) to assess the environmental impact of contamination level generated by leaks in Stations Fuel Dealers (SFD) was developed in this work. An Environmental Impact Index for Leak in Stations Fuel Dealers (EILL-SFD) were obtained using seventeen input linguistic variables: type of contaminant, leaked volume, impacted area, the contaminant physical condition, existence of containment barriers, topography land, greenhouse gas emissions, proximity to rivers/streams, proximity of wells, thickness of the aquifer, annual precipitation, flood potential, proximity to residential areas, proximity to shopping areas, proximity to rural areas and agribusiness, proximity to schools and/or nurseries and proximity to areas of environmental preservation - grouped in partial indexes, according to the source of the contaminant, the propagation of the contaminant and the site of contamination. The fuzzy inference Mamdani method was used for mapping input and output linguistic variables, using a base composed of 112 rules, based on expert knowledge and triangular membership functions. The higher the EILL-SFD – which range between 19.9 and 100 - greater the degree of contamination of the study area, indicating a greater urgency in decision-making on intervention/remediation of the contaminated area. The SIF developed was used successfully in case study of 3000-liter diesel fuel leak, due to the pipeline disruption of the underground fuel supply system of a SFD, located in the metropolitan region of Recife, state of Pernambuco, Brazil, presenting EILL-SFD equal 63.7 - classified as serious environmental damage with a fine of application. The results suggest that the IIAV-PRC can be used - by regulatory agencies and/or consultants and / or tenants and / or owners and / or distributors - as a support tool for the assessment of environmental impact generated by leaks in PRC and the taking decisions about remediation actions of impacted areas

Key words: fuzzy logic, remediation, gasoline, diesel oil, gas stations

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A predominância dos transportes rodoviários no país trouxe a necessidade da implementação de uma rede de postos de abastecimento para suprir a demanda automotiva nacional. Com o aumento da demanda por energia no planeta, devido ao crescimento populacional, houve um aumento do consumo de combustíveis fósseis, seja para geração de energia elétrica, seja para movimentar veículos no transporte de bens e pessoas. Esse crescente consumo de petróleo e seus derivados produz, de certa forma, um aumento nos riscos de acidentes que geram contaminação durante o processo de extração, transporte, refino e armazenamento, que podem interferir no equilíbrio do meio ambiente (RAIGER E LOPES, 2009; CASSIMIRO JÚNIOR, 2010).

Os Processos de Avaliação de Impactos Ambientais (PAIA) são baseados em uma série de técnicas matemáticas que tentam localizar, descrever e avaliar os efeitos positivos e negativos que qualquer atividade humana tem sobre o meio ambiente, geralmente causando deterioração do mesmo. O principal objetivo de PAIA é prever o quanto é possível reduzir os impactos negativos sofridos pelo ambiente, resultantes de todas as atividades humanas sustentáveis. O grande problema em PAIA baseados na lógica convencional é que eles são incapazes de trabalhar com informações de natureza qualitativa. Visando evitar esse problema, informações qualitativas têm sido tradicionalmente convertidas para uma escala numérica. Considera-se que existem técnicas baseadas em lógica *fuzzy* com bons resultados, que permitem processar informações linguísticas e que não há razão para não continuar trabalhando nessa direção, portanto a aplicação de técnicas *fuzzy* para modelos de avaliação de impactos ambientais evitam o problema anteriormente mencionado (MORÓN *et al.*, 2009).

Devido a imprecisão dos impactos ecológicos e da frequente falta de informações quantitativas, a teoria *fuzzy* fornece uma abordagem útil para avaliação de impacto ambiental. Enea e Salemi (2001) empregaram uma abordagem *fuzzy* que fornece aos tomadores de decisão uma percepção mais ampla e realista dos possíveis impactos ambientais e um melhor discernimento na escolha entre várias alternativas. A abordagem adotada por esses autores, deixa claro os riscos aceitos e os cuidados a serem tomados diante dos piores impactos possíveis. O modelo proposto considera que tanto a avaliação do componente ambiental, quanto a magnitude do fator do

impacto são imprecisas, obtidas através de operadores convenientes da variabilidade real do impacto total sobre o ambiente, associando valores e funções de pertinência a todo possível impacto analisado.

Modelo *fuzzy* para variação de poluentes orgânicos persistentes em ambientes aquáticos foi desenvolvido por Seguí *et. al.* (2013). O modelo é baseado na teoria *fuzzy* e usa informações disponibilizadas por especialistas internacionais fornecidas por meio de questionários. De acordo com os autores o modelo pode ser extrapolado para outros poluentes orgânicos persistentes e para diferentes ecossistemas aquáticos para fornecer resultados úteis para tomadores de decisões.

Apesar da importância e complexidade do problema, existem poucos trabalhos publicados na literatura sobre aplicações de Sistemas de Inferência *Fuzzy* (SIF) no apoio a tomada de decisões de impactos ambientais, gerados por derivados de petróleo comercializados em postos de gasolina. Jing-cheng *et al.* (2012) desenvolveram um estudo sobre segurança de postos de gasolina baseado na teoria *fuzzy*. Considerando diversos tipos de acidentes e fatores de risco, os autores descreveram um novo índice para avaliação de sistema de segurança, capaz de fornecer o grau de segurança de um posto de gasolina.

Um método de apoio a decisão para avaliação de impacto ambiental usando uma abordagem em lógica *fuzzy* foi desenvolvido por Boclin e Mello (2006). O método objetiva oferecer a tomadores de decisões uma forma de operar variáveis *crisp* e *fuzzy* e realizar inferências dos valores resultantes de um indicador sistêmico tanto quanto de indicadores ambientais, culturais, sociais e econômicos. O método foi testado na área de proteção ambiental de Anhatomirim, Santa Catarina, Brasil, para previsão de alternativas de futuros cenários para adaptação de uma rodovia e de um projeto de pavimentação. O SIF desenvolvido mostrou ser logicamente consistente e facilmente entendido por não especialistas e servirá como instrumento de apoio para especialistas, agentes sociais e pessoas interessadas em entender mais claramente a realidade dos impactos ambientais.

Uma metodologia para classificação *fuzzy* de áreas contaminadas por derivados de petróleo, foi desenvolvida por Silva (2005) e usada para calcular o valor do Índice de Prioridade para o Grau de Contaminação (IPGC) de áreas contaminadas por derivados

de petróleo. Esse valor representa o potencial de contaminação da área, considerando as variáveis das características do contaminante, da propagação do contaminante, dos bens a proteger e outros aspectos (socioculturais, geopolíticos e técnico-econômicos).

Neste contexto, este trabalho aborda a problemática da contaminação do ambiente por hidrocarbonetos comercializados em postos de combustíveis (óleo diesel, gasolina, querosene e óleos lubrificantes) e o desenvolvimento de sistema de inferência *fuzzy* para classificação de impacto ambiental e apoio à tomada de decisões sobre ações de remediação de áreas contaminadas por vazamentos dos referidos petroderivados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de inferência *fuzzy* (SIF) para classificação de impactos ambientais gerados por postos revendedores de combustíveis (PRC).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer um índice baseado em SIF para avaliação, qualitativa e quantitativa, do impacto ambiental de áreas contaminadas por vazamentos em PRC (IIAV-PRC).
- Aplicar o SIF em estudo de caso de área contaminada por vazamento de óleo diesel, em posto revendedor de combustível, situado na Região Metropolitana do Recife, no estado de Pernambuco, Brasil.
- Validar o IIAV-PRC através de comparação de aplicação em estudo de caso de área contaminada por gasolina, avaliada previamente por outro índice *fuzzy*, de proposta geral, desenvolvido para classificação de prioridade do grau de contaminação de área por petróleo e derivados.

1.3 REVISÃO DA LITERATURA

1.3.1 Características do petróleo e seus derivados

Devido a sua versatilidade, o petróleo é um elemento-chave para as atividades socioeconômicas dos países; usado tanto na produção de energia, como também sendo matéria prima para a produção de diversos compostos. Contudo, essa grande dependência tem graves consequências ao equilíbrio do planeta, pois além da poluição que ocorre na queima de tais combustíveis, sempre existe o risco de acidentes com grandes impactos econômicos, ambientais e de saúde pública em decorrência do vazamento do material para o meio ambiente (IUSTMAN, LOPES, 2009).

Na extração do petróleo além do óleo bruto, também é retirado gás natural condensado e outros elementos químicos, tais como: nitrogênio, enxofre, oxigênio, que constituem menos de 3%, fósforo e alguns metais pesados a exemplo do níquel e vanádio, presentes em menos de 1% do volume (SILVA, 2005; RAIGER E LOPES, 2009).

O óleo bruto é formado, na sua maioria por hidrocarbonetos – compostos químicos constituídos essencialmente por átomos de carbono e hidrogênio – que podem ser classificados como alifáticos (alcanos e alcenos), alicíclicos (cicloalcanos) e aromáticos (SILVA, 2005), tais como:

- **Alcanos**, também conhecido como parafina, compreendem os hidrocarbonetos de cadeias simples e mais abundantes na composição do óleo bruto. Também são os menos prejudiciais, pois seu nível tóxico é baixo e de fácil biorremediação.
- **Cicloalcanos ou naftas** são hidrocarbonetos similares aos alcanos. Possuem na sua estrutura molecular ligações duplas entre os átomos de carbono e cadeia aberta. Quase não encontrados no óleo bruto, são mais abundantes nos produtos resultantes do refinamento do petróleo como o querosene e a gasolina.

- **Alcenos ou olefinas** são caracterizados por possuírem cadeia fechada ou cíclica e saturada. São responsáveis pela segunda maior parte da composição do petróleo e o seu nível de toxicidade varia de acordo com a estrutura molecular. São mais difíceis de serem biodegradados.
- **Aromáticos**, menos abundantes, contudo, presentes em praticamente todos os tipos de petróleo. São caracterizados por serem insaturados e policíclicos - dois ou mais anéis aromáticos -, e são os que possuem maior nível tóxico e de biorremediação mais lenta.

Após extraído, o petróleo passa por um processo de refino, com a finalidade de se obter alguns subprodutos, tais como: a gasolina, o diesel, o querosene e outros óleos lubrificantes, que são distribuídos e comercializados por postos de combustíveis de todo do país.

1.3.2 Postos revendedores de combustíveis (PRC)

1.3.2.1 Características Gerais

Por definição, postos revendedores de combustíveis são organizações comerciais que tem como objetivo o aumento do lucro através da revenda de combustíveis automotivos e prestação de serviços, tais como troca de óleo e loja de conveniências, além da redução dos custos por diminuição das perdas (MOISA, 2005).

A resolução CONAMA nº 273 de 29 de novembro de 2000, em seu Artigo 2º, descreve posto revendedor como: instalação onde se exerça a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispondo de equipamentos e sistemas para armazenamento de combustíveis automotivos e equipamentos medidores.

Por outro lado, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica PRC através da Norma Brasileira (NBR) Nº 13.786/97, em relação à região de entorno,

levando em conta um raio de 100m a partir do perímetro do posto. O fator de agravamento neste ambiente, depois de identificado deve ser classificado no nível mais alto, mesmo que haja apenas um dos fatores desta classe (MARQUES *et. al.*, 2008 apud SANTOS, 2009; CPRH, 2006), são eles:

Classe 0 - a área do entorno não possui nenhum dos fatores de agravamento das classes seguintes.

Classe 1 - a área do entorno possui:

- Rua com rede de drenagem de águas pluviais
- Rua com rede subterrânea de serviços (galeria de esgoto, água, telefone, energia elétrica etc.)
- Fossa em área urbana
- Edifício multifamiliar com até quatro andares

Classe 2 - a área do entorno possui:

- Asilo
- Creche
- Edifício multifamiliar com mais de quatro andares
- Favela com cota igual ou superior a do posto
- Edifício de escritórios comerciais, com quatro ou mais andares
- Poço de água, artesiano ou não, para consumo doméstico
- Casa de espetáculos ou templo
- Escola
- Hospital

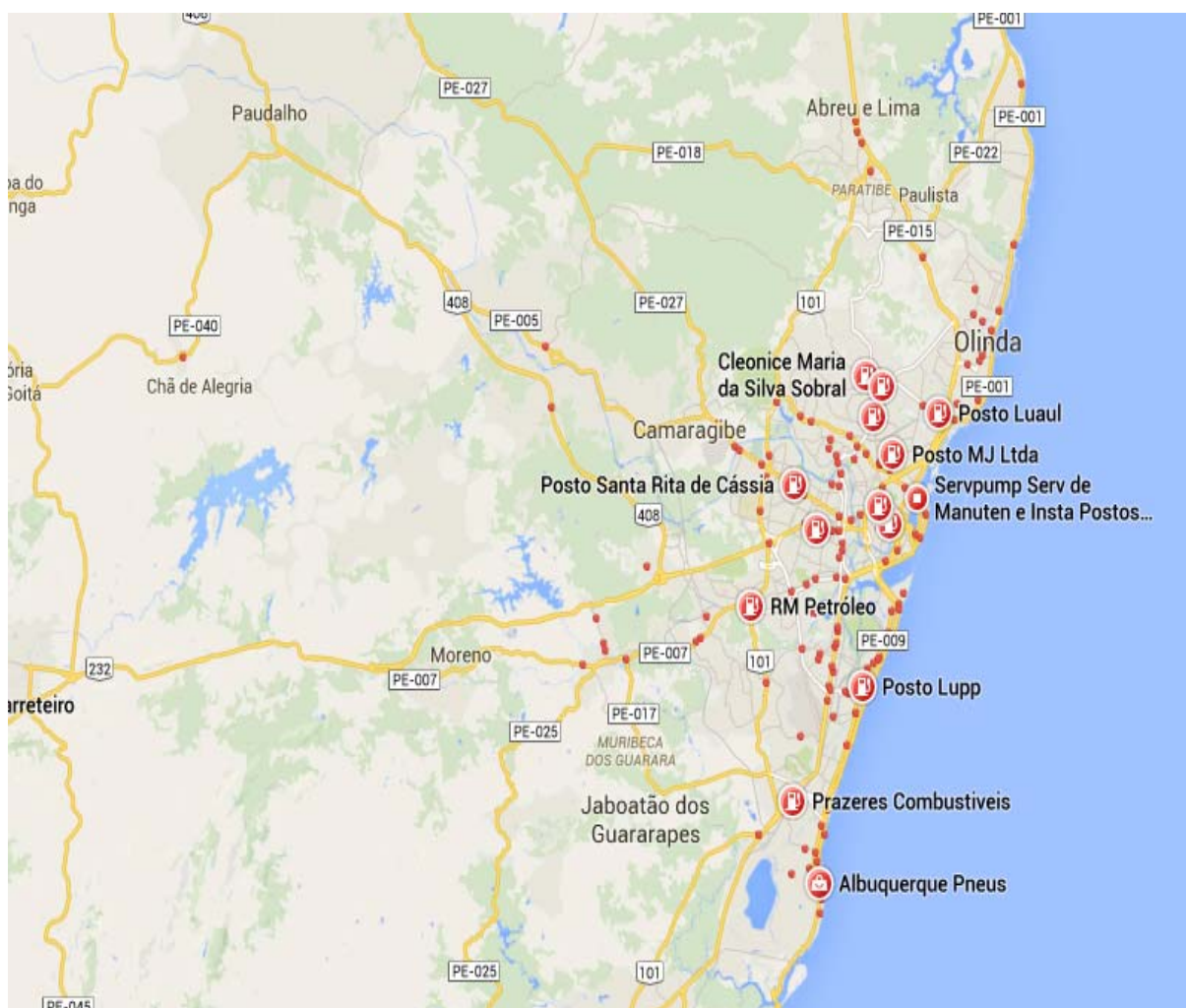
Classe 3 - a área do entorno possui:

- Favela com cota inferior à do posto
- Metrô em cota inferior à do solo
- Garagem residencial ou comercial construída em cota inferior à do solo
- Túnel construído em cota inferior à do solo
- Edificação residencial, comercial ou industrial, construída em cota inferior à do solo
- Atividades industriais e operações de risco: armazenamento e manuseio de explosivos, bem como locais de carga e descarga de inflamáveis líquidos (base e terminal)
- Água do subsolo utilizada para consumo público da cidade (independentemente do perímetro de 100 metros)
- Corpos naturais superficiais de água destinados a abastecimento doméstico, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), irrigação, criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

No Brasil, os PRC comercializam diversos derivados de petróleo como gasolina, diesel, querosene, óleos lubrificantes e gás natural veicular (GNV), além do biocombustível etanol, proveniente da cana-de-açúcar e do biodiesel produzido a partir de óleo vegetais. De acordo com dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), publicados em relatório anual datado de 2013, existem cerca de 38.893 postos de combustíveis no Brasil, sendo que desses 1.266 estão localizados no Estado de Pernambuco (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2014).

A figura 1.1 ilustra a localização parcial dos Postos Revendedores de Combustíveis instalados na Região Metropolitana do Recife (RMR) cadastrados no Google.

Figura 1.1 Mapa ilustra localização de alguns dos Postos Revendedores de Combustíveis na Região Metropolitana do Recife (GOOLE MAPS, 2014)



Entretanto, a Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) Nº 012/2007 registra que o funcionamento do posto de abastecimento depende da autorização de operação concedida pela ANP, sendo a operação iniciada somente após a obtenção desta autorização (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS, 2014).

Contudo, a abertura de novos PRC vem crescendo e com isso o risco da ocorrência de acidentes ocasionados nas diversas etapas, envolvidas no abastecimento de veículos automotores.

1.3.2.2 Classificação de combustíveis comercializados em PRC

Em geral, os combustíveis derivados do petróleo podem ser classificados quanto a persistência no ambiente, ao peso específico e as propriedades biofísicas (SILVA, 2005). No Quadro 1.1 são apresentadas as principais características da gasolina, do óleo diesel, do querosene e dos óleos lubrificantes.

1.3.2.3 Causas e fases de contaminação do meio ambiente por Postos Revendedores de Combustíveis

A contaminação do ambiente ocorre pela exposição e/ou contato de substâncias xenobióticas com solo e/ou água e/ou ar (Quadro 1.2). As contaminações por derivados de petróleo podem ser causadas por vazamento, derrame, transbordamento ou corrosão de equipamentos usados para extração, transporte, armazenamento e refino (LORENZETT, ROSSATO, NEUHAUS, 2011; GAYLARD *et al.* 2005).

Em postos de combustíveis, as formas de contaminação são basicamente as mesmas: vazamentos, derrames, transbordamento dos tanques e corrosão dos equipamentos envolvidos no abastecimento.

Os vazamentos podem ocorrer em decorrência de falta de manutenção dos equipamentos envolvidos no abastecimento, bem como no armazenamento dos combustíveis, já os derramamentos são provenientes de falta de treinamento de pessoal (frentistas) que operam as bombas de combustíveis, e o transbordamento pode ocorrer tanto no ato do abastecimento dos veículos, quanto no enchimento dos tanques subterrâneos dos postos de combustíveis (LORENZETT, ROSSATO, NEUHAUS, 2011; SOARES, *et al.* 2012).

Quadro 1.1 Principais características dos derivados de petróleo

| Contaminante | Características e Propriedades |
|---------------------|--|
| Gasolina | <p>Produto refinado muito leve Muito volátil e altamente inflamável (próximo aos 40°C) Elevadas taxas de evaporação Baixa viscosidade Peso específico menor que 0,80 (flutua na água) Toxicidade aguda elevada para a biota Penetra no substrato causando contaminação abaixo da superfície</p> |
| Óleo Diesel | <p>Produto refinado muito leve Moderadamente volátil (inflamação 40°C ≤ 65°C) Evaporação das frações leves (2/3 do volume derramado) Peso específico de 0,80-0,85 Densidade API de 35-45 (flutua na água desde que a mistura não esteja em condições turbulentas) Toxicidade aguda moderada a elevada para a biota Cobre e penetra no substrato, com alguma contaminação abaixo da superfície. Hidrocarbonetos desse grupo tendem a asfixiar os organismos</p> |
| Querosene | <p>Produto refinado muito leve Moderadamente volátil (inflamação 40°C ≤ 65°C) Evaporação das frações leves (2/3 do volume derramado) Peso específico de 0,80-0,85 Densidade API de 35-45 (flutua na água desde que a mistura não esteja em condições turbulentas) Toxicidade aguda moderada a elevada para a biota Cobre e penetra no substrato, com alguma contaminação abaixo da superfície. Hidrocarbonetos desse grupo tendem a asfixiar os organismos</p> |
| Óleos Lubrificantes | <p>Produto intermediário Moderadamente volátil (inflamação > 52°C) Evaporação de 1/3 do volume derramado Viscosidade moderada a elevada Peso específico de 0,85 - 0,95 Densidade API de 17,5 - 35 Toxicidade aguda variável para a biota, dependendo da quantidade da fração leve Podem formar emulsões leves Cobre e penetra no substrato, com provável contaminação pesada abaixo da superfície. Hidrocarbonetos desse grupo tendem a asfixiar os organismos</p> |

Fonte: Adaptado de SILVA, 2005

Quadro 1.2 Principais formas de contaminação por petróleo e derivados no meio ambiente

| Água | Solo | Ar |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Derrame de combustível | Derrame de combustível | Gases de combustíveis |
| Vazamentos | Vazamentos | Vapores tóxicos |
| Má disposição dos resíduos | Má disposição dos resíduos | |

Fonte: Adaptada de LORENZETT, ROSSATO, NEUHAUS, 2011

Processos de oxidação provenientes de falta de manutenção geram corrosão de equipamentos, tendo também como consequência vazamentos e/ou derramamentos (HOUAISS, 2009; LORENZETT, ROSSATO, NEUHAUS, 2011; SOARES, *et al.* 2012).

O Quadro 1.3 exibe outras formas de contaminação, além da falta de manutenção, que podem ocorrer através dos serviços ofertados pelos PRC.

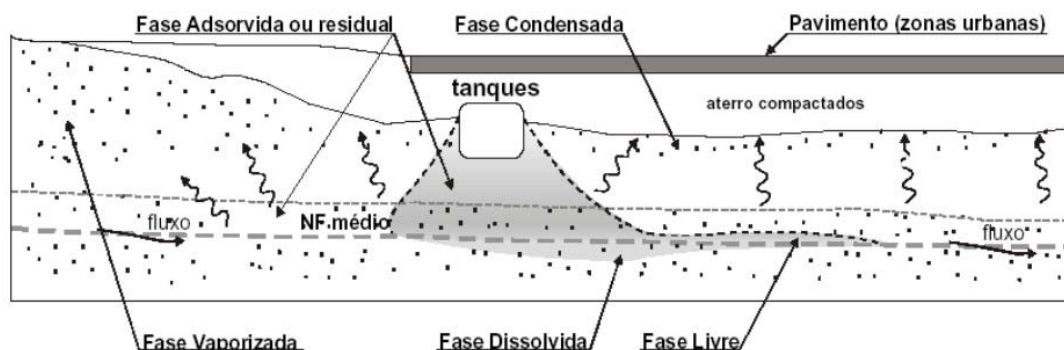
Quadro 1.3 Atividades, fontes de contaminação e resíduos gerados em postos de serviço

| Atividade | Fonte de contaminação | Tipo de resíduo |
|----------------------------------|---|--|
| Troca de fluidos | Óleos lubrificantes, fluido de transmissão e filtro de motor | Hidrocarbonetos, metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) |
| | Fluido de refrigerante | Clorofluorcarbono (CFC) |
| Abastecimento | Vazamentos e derrames de combustíveis | Hidrocarbonetos e PAH |
| Lavagem | Efluentes com detergentes e agentes de limpeza | Sedimentos, óleos, graxas e ácidos |
| Substituição de peças | Óleos lubrificantes, filtros do motor, fluidos de transmissão, vazamentos de combustíveis, baterias, pneus, freios, mangueiras, conexões e peças do motor | Hidrocarbonetos, metais pesados, ácidos, PAH, etileno-glicol, sedimentos, óleos e graxas |
| Limpeza das instalações do posto | Estopas sujas, materiais absorventes, efluentes com detergentes, lodo do separador de óleo e água | Metais pesados, óleos e graxas, álcalis e solventes |
| Limpeza de peças | Solventes e efluentes com detergente | Hidrocarbonetos, óleos e graxas, PAH, compostos clorados |

Fonte: Adaptada NELLOR; BROSSEAU, 1995 *apud* MOISA, 2005

Existem cinco fases de contaminação do ambiente provenientes de um tanque de armazenamento de combustíveis conforme ilustra a Figura 1.2 (MERCER; COHEN, 1990 *apud* SANTOS, 2009).

Figura 1.2 Fases de contaminação do solo (AZAMBUJA *et al*, 2000 *apud* SANTOS, 2009)



- **Fase livre** ocorre quando o hidrocarboneto puro mistura-se com a água contida no solo, constituindo um véu sobre o lençol freático, podendo ser mais ou menos espesso a depender do volume vazado e da dinâmica do sistema freático. Outra característica dessa fase é que apenas 50% dos vazios dos solos são ocupados por água e ar e a outra metade é preenchida pelo hidrocarboneto.
- **Fase adsorvida** essa fase pode ser mais significativa a depender da viscosidade do hidrocarboneto, da porosidade do solo e das oscilações do lençol freático e pode ser observada na parte superior ao topo da fase livre.
- **Fase vaporizada** pode ser observada quando ocorre a volatilização dos componentes químicos do hidrocarboneto ocupa os vazios do solo e, quanto maior for a pressão dos vapores, maior será a evaporação dos elementos químicos.
- **Fase dissolvida** ocorre quando os contaminantes são dissolvidos no lençol freático e uma fração emulsificada do hidrocarboneto dissipa-se para a parte inferior do nível da água. Essa característica é mais observada em fluidos menos viscosos a exemplo da gasolina.
- **Fase condensada** é mais observada em áreas pavimentadas e/ou com solo compactado e pouco permeável e, caracteriza-se pela concentração do poluente sob o pavimento.

Contudo, muitos dos acidentes podem ser evitados se forem seguidas as normas e legislação vigentes com cada Estado e Município.

1.3.2.4 Normas e medidas de prevenção de acidentes

Para a abertura de um posto de combustível é necessário: (i) cumprir algumas normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); (ii) seguir determinações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) referentes à legislação ambiental; (iii) cumprir a norma técnica NBR-13786(2005) estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e (iv) atender às legislações estaduais onde o posto será implantado (LORENZETT, ROSSATO, NEUHAUS, 2011).

No Brasil, a Lei de crime ambiental nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998 trata das sanções penais e administrativas que devem ser aplicadas às condutas lesivas ao meio ambiente, com penas que vão de multas até reclusão de quatro anos para pessoas jurídicas e representantes legais envolvidos. Entretanto, a legislação nacional tende a ficar cada vez mais rigorosa com a adição de novas normas ambientais que já determinam multas que podem chegar a R\$ 50 milhões, além do compromisso de recuperação do passivo ambiental (BRASIL, 1998; SANDRES, 2004).

O Quadro 1.4 apresenta as medidas de prevenção para acidentes em postos de combustíveis de acordo com a norma técnica NBR-13786:2005 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Mesmo com todas as medidas e normas estabelecidas pelos órgãos competentes, ainda é possível encontrar alguns incidentes envolvendo postos de combustíveis e contaminação do ambiente, o que torna necessário a descontaminação da área afetada.

Quadro 1.4 Processos de proteção e controle conforme a causa da contaminação

| Causa da contaminação | Processo de proteção e controle |
|--|--|
| Vazamento | Detecção de vazamento, conforme a ABNT NBR 13784. Uma única válvula de retenção instalada em linha de sucção. Câmara de contenção sob a unidade abastecedora e unidade de filtragem. Monitoramento intersticial nos tanques e tubulações de pressão positiva. Monitoramento nas câmaras de contenção da unidade abastecedora e unidade de filtragem. |
| Derrame | Caixa separadora de água e óleo. Câmara de acesso à boca-de-visita do tanque. Canaletas de contenção. |
| Transbordamento | Dispositivo para descarga selada. Câmara de contenção da descarga de combustível. Válvula antitransbordamento ou válvula de retenção de esfera flutuante ou alarme de transbordamento. |
| Corrosão do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustível (SASC) | Tanque fabricado conforme ABNT NBR 13312 Tanque fabricado conforme ABNT NBR 13212 Tanque fabricado conforme ABNT NBR 13785 |

Fonte: ABNT. NBR 13786, 2005

1.3.2.5 Impactos ambientais da contaminação

A contaminação do meio ambiente ocorre quando o petróleo ou seus derivados são, de forma acidental ou não, derramados em solos, mares, oceanos, córregos e rios, de maneira que venham a causar danos ao ecossistema local (GAYLARD, 2005).

Uma área contaminada pode ser definida como um local onde há constatação de contaminação - confirmada por investigação geoambiental prévia e/ou por meio de análises - da presença de substâncias que podem causar danos e/ou riscos a bens e pessoas do local ou dos arredores (CETESB/GTZ, 1999 *apud* SILVA, 2005).

Dentre os principais acidentes, com gasolina, ocorridos no Brasil, tem-se o rompimento das linhas que interligam a Refinaria Presidente Bernardes, localizada em Cubatão-SP e o Porto de Alemoa na cidade de Santos-SP, com a vazamento de 1.200 m³ de gasolina, ocorrido em 1984 (CETESB, 2014). Outros acidentes com derivados de petróleo em outras partes do mundo são apresentados no Quadro 1.5.

Quadro 1.5 Principais acidentes com derivados de petróleo

| Local/Data | Volume | Descrição |
|-------------------------------|---------------------|---|
| São José dos Campos-SP (1984) | 1000 m ³ | Rompimento de tubulação do Sistema OSVAT devido a corrosão no interior das instalações da Refinaria do Vale do Paraíba (REVAP), que resultou um grande impacto ambiental contaminando áreas alagadas e o córrego Lambari. |
| Baía de Guanabara (2000) | 1.292.000 litros | O vazamento ocorreu na parte enterrada do duto localizado na saída da área da REDUC, na orla da Baía de Guanabara. O produto estava sendo bombeado do tanque TQ-516 da REDUC para o tanque TQ-101 da Ilha D'Água. |
| Golfo do México (2010) | 4 milhões de barris | A plataforma de petróleo da empresa <i>British Petroleum Deepwater Horizon</i> explode causando a morte de 11 pessoas e o rompimento das tubulações submarinas. O vazamento durou 86 dias. |
| Golfo da Tailândia (2013) | 50 mil litros | Rompimento de duto da empresa PTT <i>Global Chemical</i> , causa grande impacto ambiental na ilha de <i>Koh Samet</i> , na Tailândia. |

CETESB (2014); VEJA (2010); VAZAMENTOS (2013); MMA (2014).

De acordo com registros do banco de dados do Cadastro de Áreas Contaminadas da CETESB, divulgado em 2014 com dados referentes ao ano de 2013, cerca de 3597 postos revendedores de combustíveis estão contaminados ou estão em processo de descontaminação, o número corresponde a 75,4% do total de registros de contaminação de todo o estado de São Paulo (CETESB, 2014).

Os impactos causados ao meio ambiente por contaminação de derivados de petróleo, além de serem danosos aos ecossistemas do planeta, causam prejuízos a economia dos países. Como exemplo, pode ser citado o caso do vazamento no Golfo

da Tailândia em 2010, que afetou a ilha de Koh Samet e consequentemente a economia local, que vive basicamente do turismo e da pesca (VAZAMENTO, 2013).

Entretanto, se seguidas as recomendações dos órgãos e competentes, bem como as normas vigentes e treinamento de pessoal, o número de acidentes com consequências ao meio ambiente e aos bens próximos seriam reduzidos drasticamente e não haveria necessidade de intervir com ações corretivas nos postos de combustíveis.

1.3.2.6 Ações de remediação em postos de combustíveis e áreas circunvizinhas

De forma geral, as técnicas para tratamento de áreas impactadas por derivados de petróleo podem ser classificadas como físicas, químicas e biológicas. Suas principais características encontram-se sintetizadas no Quadro 1.6.

Quadro 1.6 Métodos de remediação de áreas contaminadas

| Técnicas | Características |
|------------|--|
| Físicas | São mais utilizadas para evitar o aumento da contaminação. No mar são utilizadas barreiras flutuantes com a finalidade de conter a dispersão do contaminante. Em postos de combustíveis existem canaletas ao redor da área onde estão localizadas as bombas de combustíveis que recolhem qualquer derramamento de combustível que por ventura venha a ocorrer. |
| Químicas | Nos processos químicos, são utilizados compostos químicos que possuem a capacidade de interromper a propagação e/ou de eliminar o(s) contaminante(s). |
| Biológicas | Nos processos biológicos ou de biorremediação são utilizados microrganismos ou plantas que absorvem, adsorvem ou quebram as moléculas do(s) contaminante(s), facilitando a assimilação dos mesmos e acelerando a descontaminação das áreas atingidas. |

Fonte: Adaptada (TROVÃO, 2006; CASSIMIRO JUNIOR, 2010)

Técnicas de remediação física, químicas e biológicas de áreas contaminadas podem ser aplicadas no local em que ocorreu a contaminação (remediação *in situ*) ou removendo o material contaminado para ser tratado em outro local (remediação *ex situ*). O Quadro 1.7 sintetiza as principais características de algumas destas técnicas de descontaminação de áreas impactadas.

Quadro 1.7 Técnicas de descontaminação de áreas contaminadas

| Técnica | Descrição das principais características |
|--|--|
| Bombeamento e tratamento (<i>Pump & Treat</i>) | Consiste em bombear grandes volumes de água contaminada do subsolo, com a finalidade de tratamento utilizando uma caixa separadora de água e óleo ou com utilização de carvão ativado e remoção dos gases. |
| Remoção de gases (<i>Air Strippers</i>) | Consiste na aplicação de uma corrente de ar descontaminado na água contaminada fazendo com que o ar remova substâncias orgânicas dissolvidas na água. |
| Carvão ativado | Consiste na extração de compostos orgânicos voláteis do ar, pelo processo da adsorção em carvão ativado. É utilizado conjuntamente com outras técnicas para purificação do ar. |
| Biorremediação | Consiste na adição de micro-organismos (bioaumento), nutrientes (bioestimulação) ou plantas (fitorremediação) em áreas poluídas para descontaminar ou facilitar o processo de descontaminação dessas áreas. |
| Atenuação natural | Consiste o uso de processos naturais para remediar ambientes terrestres e aquáticos poluídos. Essa técnica só pode ser utilizada quando se conhece muito bem os riscos envolvidos para a sua aplicação. Através de estudos do solo e/ou da água, são detectados micro-organismos suficientes para a eliminação do contaminante, porém o constante monitoramento da área é necessário para atestar a evolução do processo de descontaminação. É também denominada biorremediação passiva. |
| Injeção de melão | Consiste na injeção de melão misturado com água em áreas contaminadas estimula o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas que consumirão o contaminante. Essa técnica pode ser considerada um processo de biorremediação. |
| Extração de vapores do solo (SVE) | Consiste na aplicação de vácuo para remover contaminantes voláteis e semivoláteis do solo que devem passar por uma unidade de tratamento de vapores. Essa técnica só pode ser aplicada em zonas não saturadas da área impactada. |
| Barreiras reativas (<i>in situ</i>) | Consiste na construção de muros subterrâneos próximos a fonte de contaminação para evitar a propagação da pluma do contaminante. |
| Extração multifásica (MPE) ou <i>bioslumping</i> | Consiste na remoção dos poluentes em fase livre, água subterrânea com compostos dissolvidos e vapor do solo através do bombeamento. |
| Fitorremediação | Consiste na utilização de plantas cultivadas em áreas contaminadas que promoverão a remoção e/ou biodegradação dos contaminantes encontrados no local. É uma técnica de Biorremediação. |
| Oxidação (<i>in situ</i>) | Consiste na injeção de oxidantes químicos em áreas contaminadas (água subterrânea e solo), com a finalidade de remover o contaminante através de reações químicas, convertendo sua massa em compostos inertes que podem ser absorvidos pela natureza. |
| Sistema de recuperação de fase livre por <i>skimming</i> | Consiste na utilização de equipamento acoplado na interface hidrocarboneto/água que é capaz de captar a fase livre. Existe o <i>skimmer</i> ativo que utiliza uma bomba para retirada constante do contaminante e o <i>skimmer</i> passivo que armazena o contaminante em recipiente de 1,5 a 6 litros que devem ser monitorados para substituição dos mesmos em tempo adequado. |
| Dessorção térmica | Consiste na retirada do contaminante do solo através da utilização de uma fonte de calor, contudo essa técnica não é aplicada no local da contaminação e destina-se apenas ao tratamento do solo escavado. |
| Lavagem do solo | Consiste na introdução de surfactantes no solo para a redução da tensão superficial do contaminante, facilitando, assim, a remoção das substâncias do solo contaminado. |

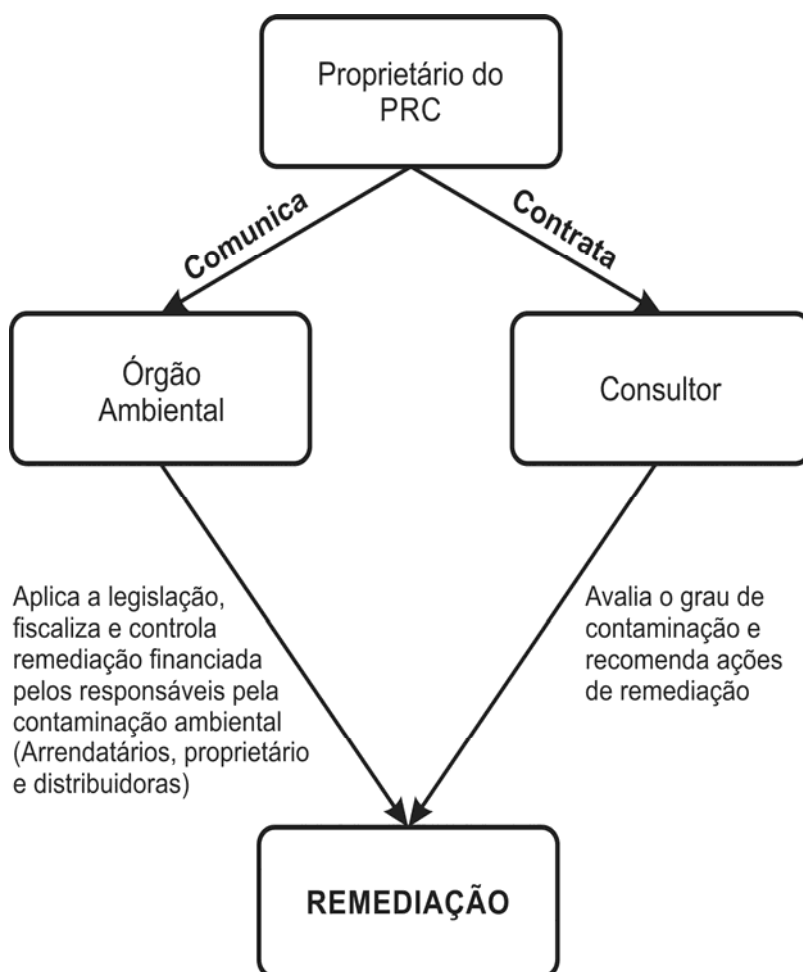
Fonte: TROVÃO, 2006

Entretanto, a escolha da tecnologia envolvida para o processo de remediação deve levar em conta algumas variáveis, tais como: geologia, hidrologia, hidrogeoquímica, características físicas e químicas do contaminante, aspectos políticos e regionais, além do tempo e dos recursos disponíveis para a realização desse processo (STIER, 2004 apud TROVÃO, 2006).

Segundo Gaylard *et al.* (2005), embora as tecnologias que usam processos físicos e/ou químicos, com a finalidade de descontaminar ambientes poluídos sejam eficazes, a biorremediação é a alternativa mais adequada ecologicamente e mais eficaz para o tratamento de ambientes contaminados com moléculas orgânicas de difícil degradação e metais tóxicos.

Na Figura 1.3, o fluxograma relativo a tomada de decisão de qual tecnologia será eleita para solucionar o impacto ambiental e os principais envolvidos na tomada de decisão podem ser visualizados.

Figura 1.3 Fluxograma de decisão para processo de remediação



Normalmente, a decisão quanto ao processo remediatório é tomada pelo proprietário do empreendimento e que muitas vezes, não possui conhecimentos técnicos necessários para tal. A decisão deveria ser feita levando em conta as recomendações de um consultor especializado em remediação e a supervisão da autoridade competente (STIER, 2004 *apud* TROVÃO, 2006).

As ações para remediação em postos de combustíveis dependerão do grau de impacto da contaminação sofrida no local, contudo algumas medidas, como plano de revisões periódicas e reparos em tanques de armazenamento e no sistema em geral, podem prevenir o dano ao meio ambiente decorrente de vazamentos subterrâneos (TROVÃO, 2006).

Para a remediação apenas na área do posto de combustível, pode ser utilizada a remediação *ex situ*, com a remoção do material do subsolo e tratamento químico e/ou biológico em outro local e posteriormente a devolução da terra, agora tratada, para o seu local de origem. Quando a poluição atinge imóveis vizinhos ao posto de abastecimento, é utilizado o método de remediação *in situ*, com o tratamento feito no local de origem do material, realizando a drenagem do contaminante e utilização da atenuação natural do restante do contaminante (TROVÃO, 2006).

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 273, os tanques que apresentarem vazamentos deverão ser removidos após a sua desgaseificação e limpeza e dispostos de acordo com as exigências do órgão ambiental competente.

Ainda de acordo com a resolução CONAMA nº 273, se comprovada a impossibilidade técnica de remoção do tanque de combustível, estes deverão ser desgaseificados, limpos, preenchidos com material inerte e lacrados.

Segundo especialista em remediação, que atua fazendo consultoria em Postos Revendedores de Combustíveis situados em Pernambuco e na Paraíba, existem uma quantidade grande de postos de combustíveis construídos antes da implementação da maioria das normas e regras atualmente vigentes, que continuam operando, e que não se atualizaram ou modernizaram, aumentando o risco de ocorrência de vazamento, devido ao grande tempo e forma de instalação dos sistemas de abastecimento.

1.3.3 Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF)

A lógica *fuzzy* provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana, em uma forma compreensível pelos computadores. Assim, a tecnologia possibilitada pelo “enfoque *fuzzy*” tem um imenso valor prático, na qual se torna possível a inclusão da experiência de operadores humanos, os quais controlam processos e plantas industriais, em controladores computadorizados, possibilitando estratégias de tomadas de decisão em problemas complexos (SHAW; SIMÕES, 2001; ALEXIEVA *et al*, 2008; SEGUI *et al*, 2013; GHARIBI *et al*, 2012; MORÓN *et al*, 2009).

Neste sentido, a utilização da lógica *fuzzy* pode ser aplicada na classificação de áreas impactadas em postos revendedores de combustíveis e áreas circunvizinhas, com a finalidade de obtenção de um índice que ajudará na tomada de decisão em relação às prioridades de remediação, bem como, quais procedimentos devem ser tomados para a mitigação do impacto.

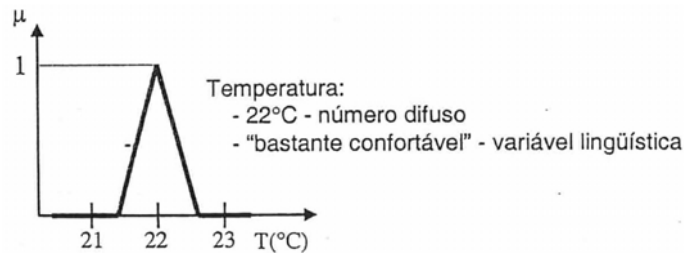
A lógica *fuzzy* ou nebulosa é um superconjunto da lógica convencional (*booleana*) que foi estendido com a finalidade de representar o conceito de verdade parcial: valores verdadeiros entre completamente verdadeiro e completamente falso (ZADEH, 1965). Com isso, enquanto que a lógica *booleana* admite apenas 0 para falso e 1 para verdadeiro, a lógica nebulosa, permite vários graus de pertinência, que permeiam o intervalo entre 0 e 1, e tem sua função de pertinência representada por μ (GALVÃO, VALENÇA, 1999).

Variáveis linguísticas são utilizadas na lógica *fuzzy* para se aproximar da lógica do pensamento humano, simplificando a solução de problemas e propiciando uma construção mais rápida de protótipos de sistemas, exemplos de variáveis linguísticas temos: rápido, lento, quente, frio, alto, baixo, médio, normal, etc. (BIONDE NETO, 2006).

Os números *fuzzy* são representados por formas geométricas (triângulo, trapézio, rampa) no plano cartesiano. Exemplo disso é visto na Figura 1.4, que

representa a “temperatura de aproximadamente 22°C”, e para tal temperatura atribui-se a variável linguística “bastante confortável” (GALVÃO, VALENÇA, 1999).

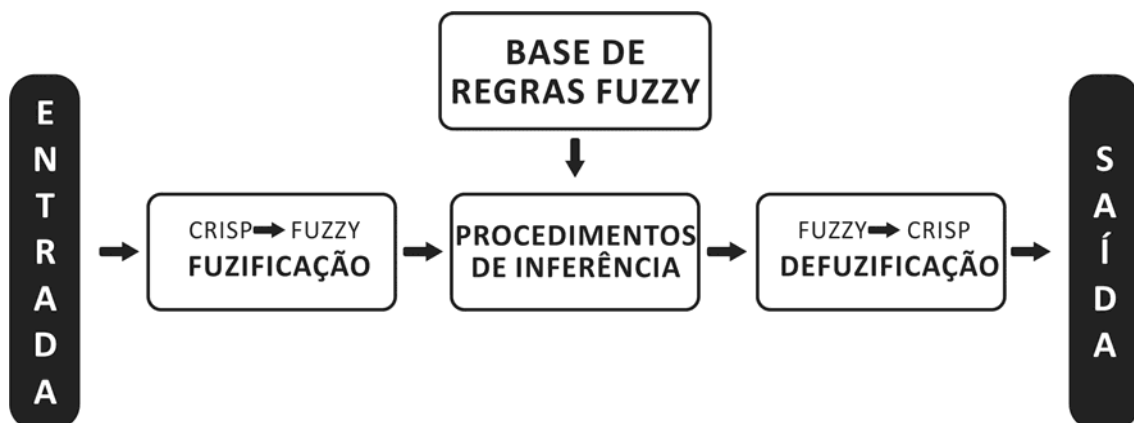
Figura 1.4 Número difuso e variável linguística (GALVÃO, VALENÇA, 1999)



O grau de pertinência é a forma aproximada, baseada mais no pragmatismo do que na estatística, da ocorrência de que uma variável seja verdadeira. Caso um especialista defina que uma variável possui 0,70 de certeza ou verdade, logo numa escala entre 0 e 1, ela tem 70% do valor máximo de possibilidade de ocorrência (VEIGA, 1994 *apud* SILVA, 2005). Para o valor zero, atribui-se a não pertinência, já para o valor 1, tem-se a pertinência total (SILVA, 2005).

A estrutura básica de um SIF é apresentada na Figura 1.5. Após a definição das variáveis linguísticas que serão utilizadas no sistema, é necessária a construção de um conjunto de regras (Base de Regras), propostas por especialistas, com a finalidade de trabalhar com as variáveis anteriormente estabelecidas.

Figura 1.5 Esquema de um sistema de inferência *fuzzy* (HAMMELL II, 1990 *apud* SILVA, 2005)



Na Fuzificação, utilizam-se funções de pertinência, estabelecidas inicialmente para o mapeamento das entradas em graus de pertinência, para os conjuntos *fuzzy* determinados para a variável. Na Defuzificação as variáveis *fuzzy* são convertidas em variáveis *crisp* (precisas).

A fuzificação das variáveis é feita através da aplicação da Equação 1.1

$$A = x, \mu A(x), \forall x \in E \quad (1.1)$$

Sendo $\mu A(x)$ o grau de pertinência em A, que compreende o intervalo entre [0,1], onde 1 representa a pertinência máxima ou total e 0 a não pertinência. Portanto $E = \{x\}$ é o conjunto de objetos, e \forall o subconjunto ou conjunto *fuzzy*, pertencente a E, é um conjunto de pares ordenados (ROSS, 1995 apud SILVA, 2005).

Após a fuzificação, o passo seguinte é a realização das inferências *fuzzy*, que tal como ocorre com os humanos na tomada de decisão, são utilizadas regras baseadas nos condicionais SE-ENTÃO. Existindo quatro métodos básicos que são: o baseado na extração de conhecimento de especialistas, outro baseado na observação de um operador humano, mais um que se baseia num modelo *fuzzy* e, por último, o que se baseia no aprendizado (SILVA, 2005; GALVÃO, VALENÇA, 1999).

Neste sentido, a computação envolvida na inferência *fuzzy* consiste basicamente em dois componentes, que são: a agregação (SE) e a composição (ENTÃO), além do operador lógico (E). Considere como exemplo a Equação 1.2, onde VE são as variáveis de entrada e VS a variável de saída (SILVA, 2005; GALVÃO, VALENÇA, 1999).

$$\text{SE } VE1 = A1 \text{ E } VE2 = A2 \text{ E } VE3 = A3 \dots \text{ ENTÃO } VS = B1 \quad (1.2)$$

Além das variáveis e dos operadores, cada regra possui um fator de certeza para que aquela condição ocorra, que são caracterizados pelos pesos, compreendidos

entre 0 e 1, os quais representam a importância da regra em relação as demais regras da base de regras (SILVA, 2005).

Para defuzificar as variáveis e torná-las variáveis *crisp* novamente, são utilizados diversos métodos, dentre eles, pode-se destacar: centroide, bissetor, máximos, média dos máximos, altura e altura modificada (MELO, 2009).

1.3.4 Outras aplicações de SIF

SIF vêm sendo utilizados há alguns anos para controle de processos industriais complexos, onde existem dificuldades devido a sua forma não-linear ou a uma certa imprecisão nas variáveis disponíveis, tais como, lote de reatores químicos, fornos de cimento e siderurgia básica de controle automatizado. Para esses casos, o controle automático é aplicado às variáveis que podem ser controladas e medidas, por exemplo, temperaturas, pressões e os fluxos (KING, MAMDANI, 1977).

O controle de sistemas através da lógica nebulosa tem encontrado muitas aplicações em várias áreas. Isto se dá, em grande parte, pela capacidade dos SIF controlarem sistemas não-lineares e incertos, mesmo no caso em que nenhum modelo matemático está disponível para o controle desse sistema. Por conta disso, um controlador de lógica difusa pode ser considerado como um sistema especialista em tempo real que se utiliza da lógica *fuzzy* para manipular variáveis qualitativas (CHAKRAVORTY, SHARMA, 2013).

Um exemplo de aplicação de SIF pode ser encontrado no controle de torque, aceleração e tração de veículo elétrico que utiliza quatro motores independentes, visando a melhoria do desempenho, da condução e da estabilidade do veículo. No algoritmo de regulagem de deslizamento da aceleração (ASR), a aceleração angular e o controlador *fuzzy* ASR baseado na taxa de deslizamento, foram projetados para manter o deslizamento das rodas dentro da faixa ideal, ajustando dinamicamente o torque do motor (YIN, WANG, JIN, 2013).

SIF também têm sido utilizados na área ambiental em diversos setores, como modelagem de avaliação de riscos ambientais de poluentes orgânicos e em desenvolvimentos de índices de qualidade de água. Um modelo para avaliação de riscos ambientais de Poluentes Orgânicos Consistentes (POC) para organismos aquáticos foi desenvolvido por Seguí *et al.* (2013), o modelo está baseado na teoria *fuzzy* e usa informação fornecidas por especialistas internacionais através de questionários, o modelo foi testado em dois estudos de caso para um particular tipo de POC retardador de chama bromado (RCB). Em ambos os projetos, os RCBs sob estudos foram éter difenílicos poli bromado e hexabromo ciclododecano. De acordo com os autores, o modelo pode ser extrapolado para outros POCs e para diferentes sistemas aquáticos para fornecer resultados úteis para os tomadores de decisão. O modelo foi testado em várias situações através de sua aplicação em casos para os quais dados experimentais são disponíveis e usando valores bibliográficos. Os resultados com dados reais da biota e da literatura foram muitos similares. Portanto pôde ser estabelecido que o modelo prediz a situação de risco real do ecossistema, embora alguns valores tais como dados sobre a biota foram extraídos da literatura.

Considerando a alta subjetividade e classificações inapropriadas que os métodos tradicionais aplicam para o desenvolvimento de um índice, Gharibi *et al.* (2012), desenvolveram um novo índice para medir a qualidade da água potável fornecida para o gado leiteiro baseado em lógica *fuzzy*. O uso de lógica *fuzzy* permitiu os autores capturar conhecimentos de especialistas e simular a forma do raciocínio humano no projeto do índice. Foram selecionados 20 parâmetros, disponíveis na literatura, determinados como críticos para avaliação da qualidade de água para o gado leiteiro beber, devido principalmente ao seu impacto potencial tanto sobre a saúde do gado leiteiro quanto sobre a saúde humana. Os resultados do trabalho sugerem que o índice de qualidade da água potável fornecida ao gado leiteiro pode ser considerado como ferramenta útil e compreensível para a avaliação da qualidade da água.

Um sistema de lógica *fuzzy* para modelagem de risco de operações de processos em refinarias de petróleo e gás foi proposto por Sa'ide *et al.* (2014). Os autores realizaram um estudo de caso de uma planta de gás em uma refinaria de óleo para ilustrar a aplicação do modelo proposto e a comparação dos resultados de ambos os métodos (*fuzzy* e tradicional). Para o caso estudado 26 falhas operacionais foram

identificadas. Os resultados dos riscos *fuzzy* mostraram que três falhas tinham nível semicrítico e as demais eram não-críticas.

SIF também podem ser utilizados em conjunto com outras técnicas computacionais (sistemas híbridos), a exemplo das redes neurais. A essa combinação dá-se o nome *neuro-fuzzy* e pode ser exemplificada pelo desenvolvimento de um modelo de inferência adaptativo *neuro-fuzzy* para estimação da produtividade de trigo com base na adubação e na combinação de diferentes tratamentos (SILVA *et al.*, 2014).

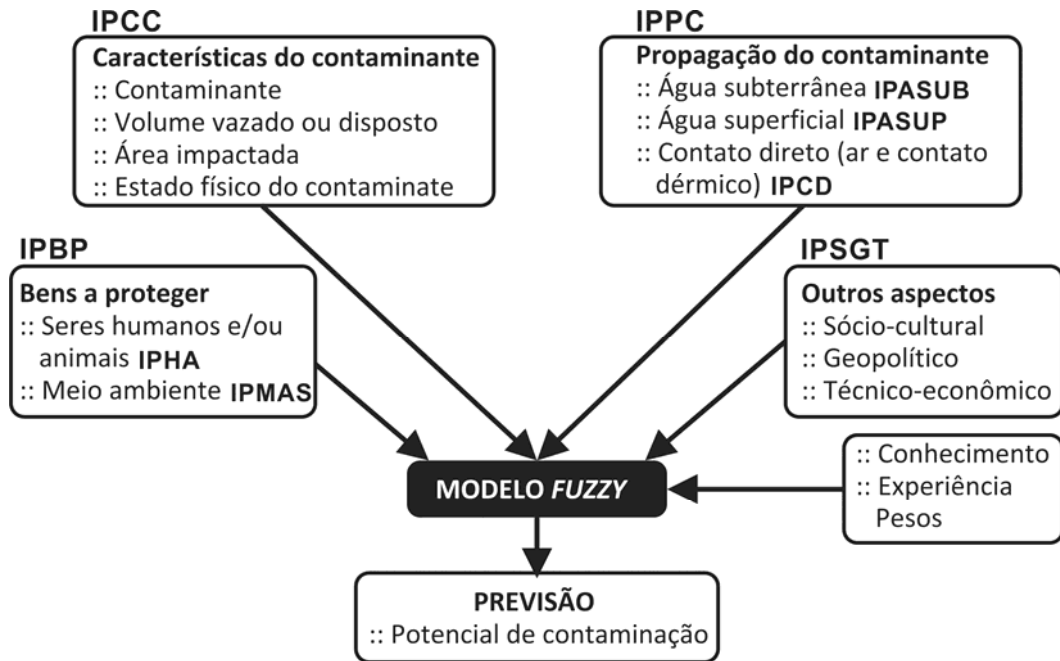
SIF híbridos associados com outras técnicas computacionais bioinspiradas (redes neurais, algoritmos genéticos, inteligência de enxame, sistemas imunológicos artificiais etc.) também vêm sendo empregado com sucesso em modelagem, simulação e controle de sistemas complexos em diversas áreas.

1.3.5. Sistema de classificação *fuzzy* para áreas contaminadas por petróleo e derivados

Um sistema de classificação *fuzzy* para áreas contaminadas por petróleo e derivados, desenvolvido por Silva (2005), será apresentado a seguir, de maneira geral, ressaltando seus principais aspectos. O referido sistema foi simplificado, no presente trabalho, para classificação qualitativa e quantitativa do impacto da contaminação por derivados de petróleo em áreas circunvizinhas a postos revendedores de combustíveis.

O sistema de classificação *fuzzy* de áreas contaminadas - proposto por Silva (2005) - para determinação do grau ou potencial de contaminação (Figura 1.6), considera todas as variáveis de cada um dos fatores: características do contaminante, propagação do contaminante (solo e água subterrânea, água superficial e contato direto), bens a proteger e outros aspectos (socioculturais, geopolíticos e técnico-econômicos).

Figura 1.6 Esquema das variáveis e índices envolvidos no sistema de inferência *fuzzy* (SILVA, 2005).



Cada uma das variáveis do SIF supracitado possui pesos, que foram determinados a partir de dados dos sistemas de classificação americano, canadense, CETESB, literatura citada e, principalmente, na experiência de técnicos especialistas na contaminação de áreas na indústria do petróleo.

Os conjuntos fuzzy foram determinados a partir dos pesos de cada parâmetro, para cada uma das variáveis de cada fator (características do contaminante, propagação dos contaminantes, bens a proteger e outros aspectos).

O processo de defuzificação adotado é o do Centro dos Máximos. O valor defuzificado ou de saída, x^* , é obtido a partir da equação (1.3), onde $\mu_{o,k}(x_i)$ indicam os pontos em que ocorrem os máximos (alturas) das funções de pertinência de saída:

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{k=1}^m \mu_{o,k}(x_i)}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \mu_{o,k}(x_i)} \quad (1.3)$$

Nesse processo, para cada fator ou conjuntos de variáveis da Figura 1.6 foram obtidos os valores do IPCC (Índice de Prioridade de Propagação do Contaminante), IPASUB (Índice de Prioridade de Águas Subterrâneas), IPASUP (Índice de Prioridade de Águas Superficiais), IPCD (Índice de Prioridade de Contato Direto), IPSAP (Índice de Prioridade para o Impacto no Suprimento de Água Potável), IPORH (Índice de Prioridade para o Impacto nos Outros Recursos Hídricos), IPEHD (Índice de Prioridade para a Exposição Humana Direta), IPMAS (Índice de Prioridade para o Meio Ambiente e IPSGT (Índice de Prioridade para os Aspectos Socioculturais, Geopolíticos e Técnico-econômicos). O valor do IPPC foi obtido pela soma do IPASUB, IPASUP e IPCD, o valor do IPBP pela soma dos valores de IPSAP, IPORH, IPEHD, IPMAS. O aplicativo CubiCalc, versão 2.0 foi usado pelo autor por possuir uma rotina, do cálculo do Índice de Prioridade do Grau de Contaminação (IPGC), já implementada para a defuzzificação das variáveis *fuzzy*.

Para o sistema desenvolvido por Silva (2005), o IPGC por derivados de petróleo, varia do mínimo de 22,1 e ao máximo de 100 pontos. Essa variação é obtida através do somatório dos demais índices propostos pelo autor. Sendo de 8 a 30 para Índice de Prioridade das Características do Contaminante (IPCC); de 4 a 30 na soma existente no Índice de Prioridade de Propagação do Contaminante (IPPC); de 10,2 a 30 para a soma do Índice de Prioridade dos Bens a Proteger (IPBP) e; de 0 a 10 para outros aspectos contidos no Índice de Prioridade Sociocultural, Geopolítico e Técnico-econômicos (IPSGT), como pode ser observado na Equação 1.4.

$$\text{IPGC} = \text{IPCC} + \text{IPPC} + \text{IPBP} + \text{IPSGT} \quad (1.4)$$

Com a obtenção do Índice de Prioridade do Grau de Contaminação as autoridades responsáveis podem decidir a melhor aplicação dos recursos para a solução dos impactos ambientais.

Com base no índice de contaminação da área, é possível estabelecer prioridades entre áreas contaminadas e eleger o melhor método de remediação para a mitigação do impacto ambiental. Partindo desse princípio, o sistema também permite o

apoio a decisão dos responsáveis pelo processo de descontaminação da área impactada, com isso podendo direcionar melhor os recursos disponíveis para esse fim.

1.4 REERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXIEVA, Z. et al., Monitoring of aromatic pollutants biodegradation. **Biochemical Engineering Journal**, n.40, p.233-240, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13786: Postos de serviços – Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 9p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2014.**

Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/?pg=71479&m=postos%20revendedores&t1=&t2=postos%20revendedores&t3=&t4=&ar=0&ps=1&cachebust=1407510845115>>. Acesso em: 8 ago. 2014.

BILOBROVEC, M.; MARÇAL, R. F. M.; KOVALESKI, J. L. Implementação de um sistema de controle inteligente utilizando a lógica fuzzy. **XI SIMPEP**, Bauru, SP, 2004.

BIONDE NETO, L. et al. Minicurso de Sistema Especialista Nebuloso. **XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p.2508-2543, 2006.

BOCLIN, A. S. C.; MELLO, R. A decision support method for environmental impact assessment using a fuzzy logic approach. **Ecological Economics**, v.58, p.170-181, 2006.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 273**, de 29 novembro de 2000. - In: Resoluções, 2000. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=271>> Acesso em 11 de novembro de 2014.

CALLAI, T. C.; COELHO, L. S.; COELHO, A. A. R. Controle nebuloso adaptativo por modelo de referência: projeto e aplicação em sistemas não-lineares. **Revista Controle & Automação**, v.18, n.4, p 479-489, 2007.

CARBAJAL-HERNÁNDEZ, J. J. et al, Immediate water quality assessment in shrimp culture using fuzzy inference systems. **Expert Systems with Applications**, v.39, p. 10571-10582, 2012.

CASSIMIRO JUNIOR, R. Otimização usando Algoritmos Genéticos de Biodegradação de Querosene por *Candida lipolytica* UCP 0988 em Água do Mar. 2010. 29p. (Dissertação - Programa de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais), Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.

CETESB. **Relação de áreas contaminadas**. Áreas Comtaminadas. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacoes-de-areas-contaminadas/15-publicacoes>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

CHAKRAVORTY, J.; SHARMA, R. Fuzzy Logic Based Method of Speed Control of DC Motor. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v.3, p. 64-66, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000**. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição.

Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2000_273.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2014.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa nº 005, de 25 de setembro de 2006**. Disciplina o processo de licenciamento ambiental dos Postos Revendedores de Combustíveis localizados no Estado de Pernambuco, bem como os procedimentos a serem adotados em caso de vazamentos de combustíveis e constatação de passivos ambientais nos postos. Disponível em:

<http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/IN%2005%202006%20POSTOS;140606;20100420.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2014.

ENEA M.; SALEMI, G. Fuzzy approach to the environmental impacto evaluation. **Ecological Modelling**, v.135, p.131-147, 2001.

DESASTRE no Golfo do México. In VEJA. Disponível em:

<<http://veja.abril.com.br/tema/desastre-ambiental-no-golfo-do-mexico>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

FEITOSA, H. A.; PAULOVICH L. Um prelúdio à lógica. 225p. ed. UNESP, São Paulo, 2005.

GHARIBI, H. et al. Development of a dairy cattle drinking water quality index (DCWQI) based on fuzzy inference systems. **Ecological Indicators**, v.20, p.228-237, 2012.

GALVÃO, C. O.; VALENÇA, M. J. S. (Org.). **Sistemas Inteligentes: Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1999.

GAYLARD, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.8, n.34, p. 36-43, 2005.

GHARIBI, H. et al. Development of a dairy cattle drinking water quality index (DCWQI) based on fuzzy inference systems. **Ecological Indicators**, v.20, p. 228-237, 2012.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v.4, n.3, p.97-115, 1994.

GOOGLE MAPS. **Postos Combustíveis Pernambuco**. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/search/postos+combust%C3%Adveis+pernambuco/@-8.0699815,-35.0898247,11z>>. Acessado em: 5 dez. 2014.

JACQUES, R. J. S., et al. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbóetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.1192-1201, 2007.

JING-CHENG, L., et al, Study on Safety Assessment of Gas Station Based on Fuzzy Theory. In: DEHUI, Z. (Ed.). **Advances in Control and Communication**, v.137, p. 391-398, 2012

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

IUSTMAN, L. J. R.; LOPES, N. I. Los biosurfactantes y la industria petrolera. **Revista Química Viva**, v.3, p.146-161, 2009.

KING, P. J.; MAMDANI, E. H. The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes. **Automatica**, v.13, p.235-242, 1977.

LORENZETT, D. B.; ROSSATO, M. V.; NEUHAUS, M. Medidas de gestão ambiental adotadas em um posto de abastecimento de combustíveis. **Revista Gestão Industrial**, v.7, n.3, p. 1-21, 2011.

MELO, L.G. Sistemas fuzzy probabilísticos: geração automática de regras e defuzzificação bayesiana. 2009. 93p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009.

MMA. Relatório sobre o impacto ambiental causado pelo derramamento de óleo na Baía de Guanabara. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/processos/67B2E6A7/artigo5.doc>. Acesso em: 20 mar. 2014.

MOISA, R. E. Avaliação qualitativa de passivos ambientais em postos de serviço através de método de análise hierárquica de processo. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Setor Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

MORÓN, A. B. et al. AIEIA: Software for fuzzy environmental impact assessment. **Expert Systems with Applications**, v.36, p.9135-9149, 2009.

PRINCIPAIS Acidentes. In EMERGÊNCIAS QUÍMICAS. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/emergencias-quimicas/137-principaisacidentes>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

RAIGER LUSTMAN, Laura J; LOPES, Nancy I. Los biosurfactantes y la industria petrolera. **Revista Química Viva**, Buenos Aires, Argentina, v.3, p.46-161, ano.8, dez. 2009.

SA'IDI, E. et al. Fuzzy risk modeling of process operations in the oil and gas refineries. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.30, p.63-73, 2014.

SANDRES, G. C. Contaminação dos solos e águas subterrâneas provocadas por vazamento de Gasolina nos Postos de combustíveis, devido à corrosão em tanques enterrados. 2004. 147p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2004.

SANTOS, D. A. R. Análise do monitoramento ambiental e da delimitação das plumas de contaminantes provenientes de vazamentos em postos de combustíveis: estudos de caso no médio Vale do Paraíba. 2009. 127p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SEGUÍ, X. et al. Fuzzy model for risk assessment of persistent organic pollutants in aquatic ecosystems. **Environmental Pollution**, v.178, p.23-32, 2013.

SCHWAAB, A. A. S. Modelagem dinâmica-fuzzy aplicada a um modelo de envelhecimento e risco. 2009. 106p. (Dissertação - Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SHAW, I. S.; E SIMÕES, M. G. Controle e Modelagem Fuzzy. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

SILVA, A. A. V. et al. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.180–187, 2014.

SILVA, M. A. B. Sistema de classificação fuzzy para áreas contaminadas por petróleo e derivados. Junho de 2005. 221p. (Tese - Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

SOARES, E. F. et al. Análise de impactos ambientais identificados nas atividades de um posto de abastecimento de combustível: proposição de medidas mitigadoras. **VII SEPRONE – Seminário de Engenharia de Produção Nordeste**, Mossoró, 2012.

TING, H. et al. Water comprehensive index method of Eltrix River in Xin Jiang province using SPSS, **Procedia Earth and Planetary Science**, v.5, p.314-321, 2012.

TROVÃO, R. S. Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos-SP. 2006. 157p. (Dissertação –

Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

VAN DER WERT, H. M. G.; ZIMMER, C. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. **Chemosphere**, v. 36, n. 10, p.2225-2249, 1998.

VAZAMENTO de petróleo na Tailândia tem forte impacto sobre o turismo. In G1 NATUREZA. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2013/07/vazamento-de-petroleo-na-tailandia-tem-forte-impacto-sobre-o-turismo.html>>. Acesso em 20 mar. 2014.

YIN, G. WANG, S. JIN, X. Optimal Slip Ratio Based Fuzzy Control of Acceleration Slip Regulation for Four-Wheel Independent Driving Electric Vehicles. **Hindawi Publishing Corporation - Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, p.1-7, 2013.

ZADEH, L. A. Fuzzy Set. **Information and Control**, n. 8, p.338-353, 1965.

CAPÍTULO II

DESENVOLVIMENTO DE ÍNDICE BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL GERADO POR VAZAMENTO EM POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS

Manuscrito submetido para publicação na Revista Química Nova

**DESENVOLVIMENTO DE ÍNDICE BASEADO EM LÓGICA FUZZY PARA
AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL GERADO POR VAZAMENTO EM
POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS**

Flávio Henrique Souza Santos^{a,*}, Clarissa Daisy da Costa Albuquerque^{a,b}

^aPrograma de Pós-Graduação (Mestrado) em Desenvolvimento de Processos Ambientais,
Universidade Católica de Pernambuco, CEP:50050-900, Recife, Pernambuco, Brasil.

^bNúcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco,
Universidade Católica de Pernambuco, CEP:50050-590, Recife, Pernambuco, Brasil

*e-mail: flaviohssantos@gmail.com

DEVELOPMENT OF INDEX BASED ON FUZZY LOGIC FOR ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT GENERATED BY LEAKS AT GAS STATIONS

An Environmental Impact Index for Leak in Stations Fuel Dealers (EIIL-SFD) were obtained using 17 input linguistic variables: type of contaminant, leaked volume, impacted area, the contaminant physical condition, existence of containment barriers, topography land, greenhouse gas emissions, proximity to rivers/streams, proximity of wells, thickness of the aquifer, annual precipitation, flood potential, proximity to residential areas, proximity to shopping areas, proximity to rural areas and agribusiness, proximity to schools and/or nurseries and proximity to areas of environmental preservation - grouped according to the source of the contaminant, the propagation of the contaminant and the site of contamination. The fuzzy inference Mamdani method was used for mapping input and output linguistic variables, using a base composed of 112 rules, based on expert knowledge and triangular membership functions. The higher the index greater the degree of contamination of the study area, indicating a greater urgency in decision-making on intervention/remediation of the contaminated area. The index developed was used successfully in case study of diesel fuel leak, due to the pipeline disruption of the underground fuel supply system of a SFD, located in the metropolitan region of Recife, state of Pernambuco, Brazil, presenting EIIL-SFD equal 63.7 - classified as serious environmental damage.

Key words: fuzzy inference system, oil pollution index, oil products, fuel service stations, environmental remediation.

INTRODUÇÃO

As populações das grandes cidades convivem diariamente com o problema de áreas passíveis de contaminação por hidrocarbonetos.¹ Uma área contaminada pode ser definida como a área ou terreno onde há comprovadamente contaminação, confirmada por investigação geoambiental e análises, nas quais se pode determinar danos e/ou riscos aos bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.²

Nas últimas décadas, o crescimento acelerado das indústrias petrolífera e automobilística tem contribuído muito para o agravamento dos problemas ambientais. A alta taxa de urbanização tem criado uma grande demanda por veículos e como resultado, um maior consumo de combustíveis.^{3,4}

Considerando as práticas envolvidas que podem provocar sérios danos ambientais, as atividades varejistas de revenda de combustíveis se caracterizam como potencialmente danosas ao meio ambiente. Entre essas, o possível vazamento de hidrocarbonetos aromáticos, olefínicos e saturados, substâncias tóxicas à saúde humana, bem como a disposição inadequada de resíduos sólidos, têm sido ocorrências comuns, constituindo-se em uma importante fonte de poluição ambiental, podendo modificar a qualidade do solo, ar e águas subterrâneas.⁵

O risco de poluição do meio ambiente por postos de combustíveis pode ser considerado grande, desde que não sejam seguidas as normas e legislações vigentes, bem como, o cronograma das manutenções das peças e componentes envolvidos no processo de abastecimento dos combustíveis. Depois de constatada a contaminação, seja por vazamentos, falha no equipamento, derrame e/ou transbordamento de derivados de petróleo na área do posto, no subsolo e nas áreas circunvizinhas ao estabelecimento, se faz necessário mensurar o tamanho do dano causado pela contaminação com a finalidade de estabelecer prioridades de áreas a serem remediadas, melhorando a tomada de decisão e o aporte de recursos financeiros e materiais para a descontaminação e a consequente solução do problema.^{1,6}

Vários programas para gerenciamento de áreas contaminadas implementaram sistemas de classificação baseados em pontuação de fatores pré-estabelecidos, os quais permitem, de forma clara, caracterizar a gravidade de cada caso e programar a aplicação racional de recursos, normalmente escassos. Estes são os casos do Sistema de Classificação de Riscos (Hazard Ranking System - HRS) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency - USEPA); do Sistema Nacional de Classificação do Canadá (National Classification System-NSC) e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CTESB) do Brasil. Outros países estabeleceram apenas regras para definir se uma área deve ou não ser considerada contaminada, tendo em vista o uso futuro pretendido da área.⁶

Existem poucos trabalhos na literatura sobre índices específicos para classificação do impacto ambiental de áreas contaminadas por vazamentos provenientes de Postos Revendedores de Combustíveis (PRC). Em, 2005, Silva, propôs índices baseados em lógica *fuzzy* para classificação do grau de prioridade de ações de remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos, fornecendo boas alternativas para avaliação de impacto ambiental provocado por combustíveis derivados de petróleo. O autor realizou um levantamento de todas as variáveis que determinam o grau ou potencial de contaminação de uma área por petróleo e seus derivados e, com base nessas variáveis, propôs uma metodologia para classificação do grau ou potencial de contaminação da área por petróleo e seus derivados, de forma que esta informação pudesse ser utilizada no processo de tomada de decisão para seleção e priorização da intervenção/remediação nessas áreas. A utilização da lógica *fuzzy* é especialmente adequada para problemas de tomada de decisão, que por dependerem de diversas variáveis de inter-relacionamentos complexos, tornam a decisão de se priorizar a intervenção/remediação de diversas áreas contaminadas, uma tarefa também bastante complexa.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta a modelagem e aplicação de um Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF) para análise do impacto ambiental em áreas vizinhas a Postos Revendedores de Combustíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Teoria dos conjuntos *fuzzy*

A lógica *fuzzy* ou nebulosa é um superconjunto da lógica convencional (booleana) que foi estendido com a finalidade de representar o conceito de verdade parcial: valores verdadeiros entre completamente verdadeiro e completamente falso.⁷ Ela foi proposta por Zadeh⁸ para lidar com as incertezas da linguagem natural. Um conjunto *fuzzy* é definido em termos de uma função de pertinência que mapeia o domínio de interesse no intervalo $[0,1]$. O símbolo μ tem sido usado para representar a pertinência *fuzzy*. As operações padrões dos conjuntos *fuzzy* são: união (*or*), intersecção (*and*) e complemento aditivo (*not*).^{9,10,11}

Sistema de inferência *fuzzy* (SIF)

Um SIF é um sistema de inferência baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy*, que mapeia valores de entrada para saídas. A Figura 1 representa a estrutura básica de um SIF. Em geral, o processo de inferência *fuzzy* envolve três etapas: fuzificação, inferência e defuzificação. A fuzificação corresponde a transformação dos dados de entrada iniciais em suas respectivas variáveis linguísticas. Valores de entrada *crisp* (valores numéricos precisos) são mapeados em variáveis linguísticas usando funções de pertinência *fuzzy*. As funções de pertinência têm diferentes formas tais como triangular, trapezoidal e gaussiana. Cada variável *fuzzy* ou entrada tem um domínio que é chamado seu universo de discurso, e cada conjunto *fuzzy* neste espaço é expresso por um termo linguístico como, por exemplo, diesel, gasolina, óleo combustível e borra oleosa, usados neste trabalho. O objetivo da inferência é relacionar as variáveis entre si, através de regras pré-estabelecidas, do tipo se(agregação)-então(composição). Esta etapa envolve a definição das proposições, a análise das regras e a criação da região resultante. Os métodos de inferência mais utilizados são o Mamdani e o Takagi-Sukeno. A defuzificação corresponde a transformação dos resultados linguístico em um valor *crisp*. Os métodos mais utilizados para defuzificação são: máximo, média dos máximos, centroide (ou centro de gravidade), altura e altura modificada.^{10,12} Os resultados das aplicações de SIF são superfícies de resposta da variável saída em função das variáveis de entrada do modelo.

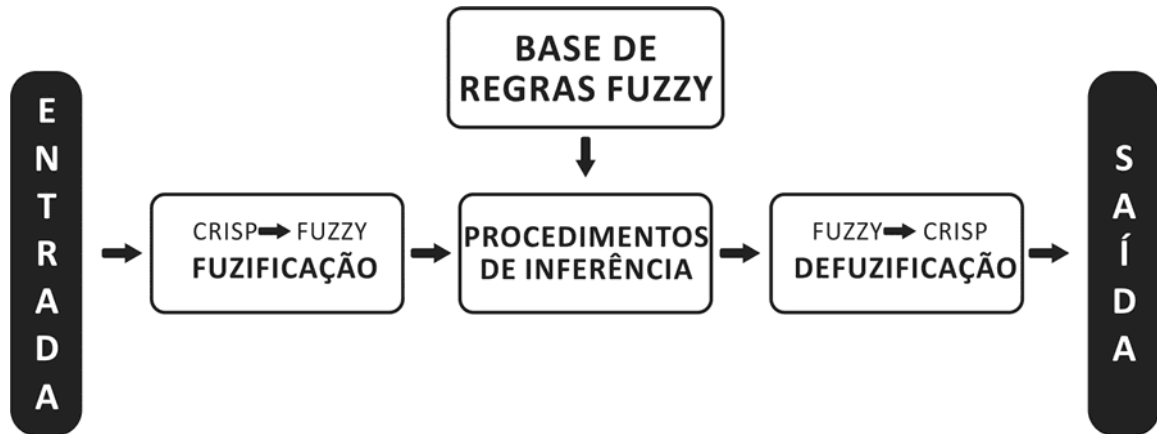


Figura 1. Esquema básico de um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF)

Sistema de Inferência Fuzzy para classificação de áreas contaminadas por vazamentos em Postos Revendedores de Combustíveis (PRC)

Os programas de gerenciamento de áreas contaminadas utilizados em alguns países (EUA, Canadá, Brasil – CETESB -, Holanda, dentre outros) tem inspirado o desenvolvimento de metodologias para classificação e priorização de áreas contaminadas.⁶ O desenvolvimento de sistemas para classificação de áreas contaminadas por compostos xenobióticos depende de diferentes padrões locais das variáveis envolvidas, o que dificulta a implementação de um sistema universal de classificação.

Neste trabalho, é apresentado um SIF para aplicação específica em PRC baseado na metodologia do SIF de proposta geral, desenvolvido por Silva (2005)⁶ para classificação do grau ou potencial de contaminação da área por petróleo e seus derivados, utilizando o aplicativo Cubicalc, versão 2.0. Os fatores de risco potencial de contaminação de uma determinada área, considerados nesta pesquisa, foram: a fonte, o mecanismo de transporte ou propagação e o receptor ou bens a proteger (Figura 2). Não foram considerados fatores como aspectos sócio-culturais, geopolíticos e técnico-econômicos, que também contribuem para a decisão de intervenção/remediação da área contaminada. O ambiente de desenvolvimento técnico científico utilizado para implementação do SIF para classificação de áreas contaminadas por combustíveis comercializados por postos revendedores foi o Matlab Student R2014a da Mathworks.¹³ As variáveis linguísticas de entrada e saída do SIF associada a cada fator potencial de contaminação de área estão especificadas na Figura 2.

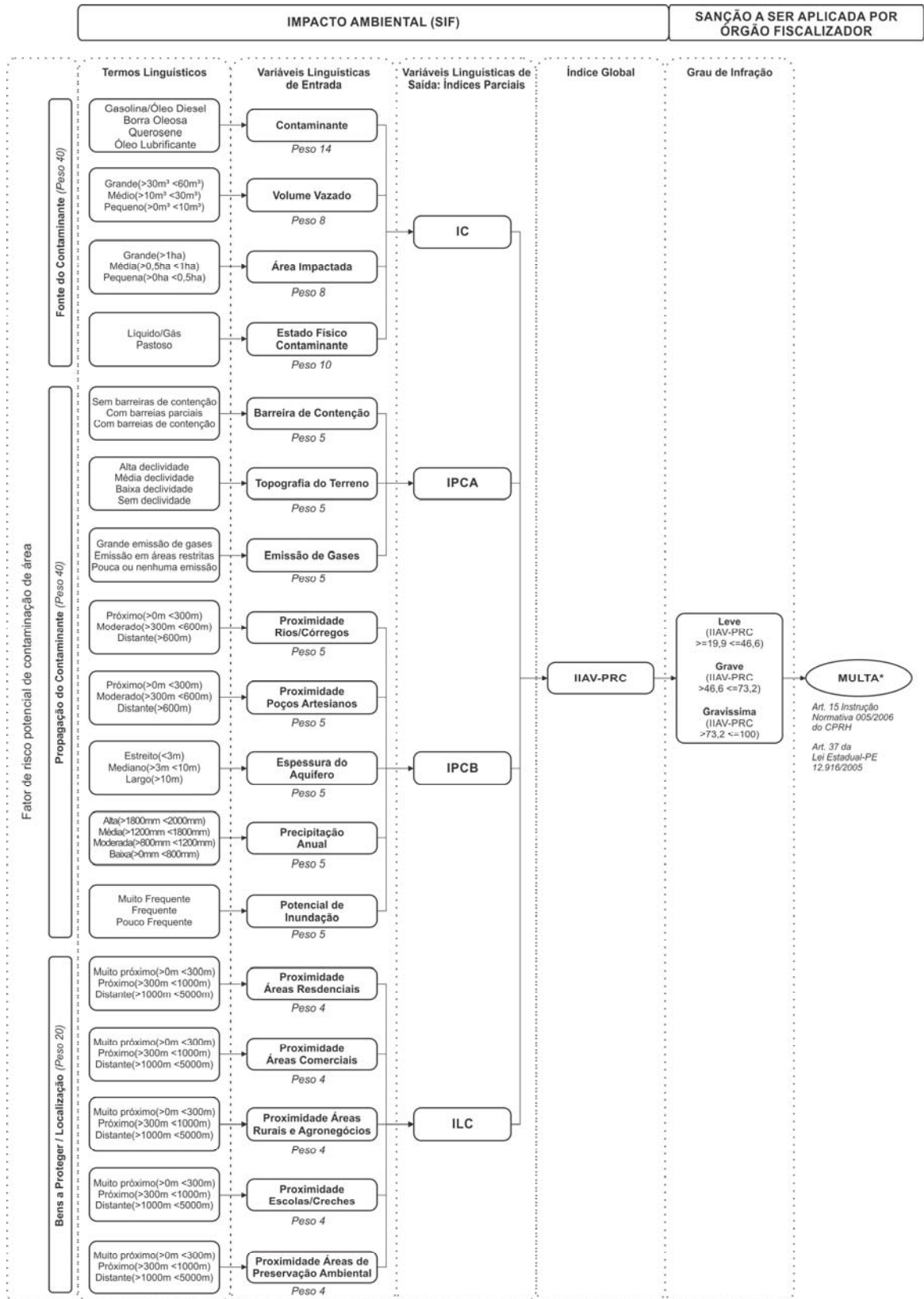


Figura 2. Estrutura das variáveis do Sistema de Inferência Fuzzy para obtenção Índice de Impacto Ambiental por Vazamento em Postos Revendedores de Combustíveis (IIAV-PRC)

Desenvolvimento de índice de impacto ambiental por vazamento em postos revendedores de combustíveis (IIAV-PRC)

Para a formação do IIAV-PRC foram usados dezessete (17) variáveis linguísticas de entrada - Tipo do contaminante (TC), Volume vazado (VV), Área impactada (AI), Estado físico do contaminante (EFC), Existência de barreiras de contenção (BC), Topografia do terreno (TT), Emissão de gases (EG), Proximidade de rios/córregos (PRC), Proximidade de poços artesianos (PPA), Espessura do aquífero (EA), Precipitação anual (PA), Potencial de inundação (PI), Proximidade com áreas residenciais (PAR), Proximidade com áreas comerciais (PAC), Proximidade com áreas rurais e de agronegócio (PAA), Proximidade de escolas e/ou creches (PEC) e Proximidade com áreas de preservação ambiental (PAP) - ilustradas na Figura 2, juntamente com seus respectivos pesos e termos linguísticos e agrupadas de acordo com o fator de risco potencial de contaminação de área.

O método de inferência fuzzy de Mamdani foi utilizado para mapeamento das variáveis linguísticas de entrada e saída, usando uma base composta por 112 regras baseada no conhecimento de especialistas⁶ e funções de pertinência triangulares.

A obtenção do IIAV-PRC é realizada em duas etapas. Na primeira etapa são obtidos quatro índices parciais: Índice do Contaminante (IC) relacionado ao tipo do contaminante, volume vazado, área impactada e estado físico do contaminante; Índice de Propagação do Contaminante (IPCA) relacionado a existência de barreiras de contenção, topografia do terreno e emissão de gases; Índice do Propagação do Contaminante (IPCB) relacionado a proximidade de rios, córregos, poços artesianos, espessura de aquífero, precipitação anual e potencial de inundação; Índice do local da Contaminação (ILC) relacionado com a proximidade de áreas residenciais, comerciais, agronegócio, creches/escolas e preservação ambiental.

O Índice do Contaminante (IC) é obtido, após o processamento das inferências *fuzzy*, pela soma aritmética ponderada das pertinências das variáveis linguísticas (Tipo do contaminante ou TC, Volume Vazado ou VV, Área Impactada ou AI e o Estado Físico ou EFC), relacionadas a fonte do contaminante.

$$IC = (TC*PTC + VV*PVV + AI*PAI + EFC*PEFC) \quad (2)$$

As funções de pertinências e números *fuzzy* para as variáveis linguísticas de entrada e de saída usadas para determinar o índice do contaminante estão ilustradas na Figura 3.

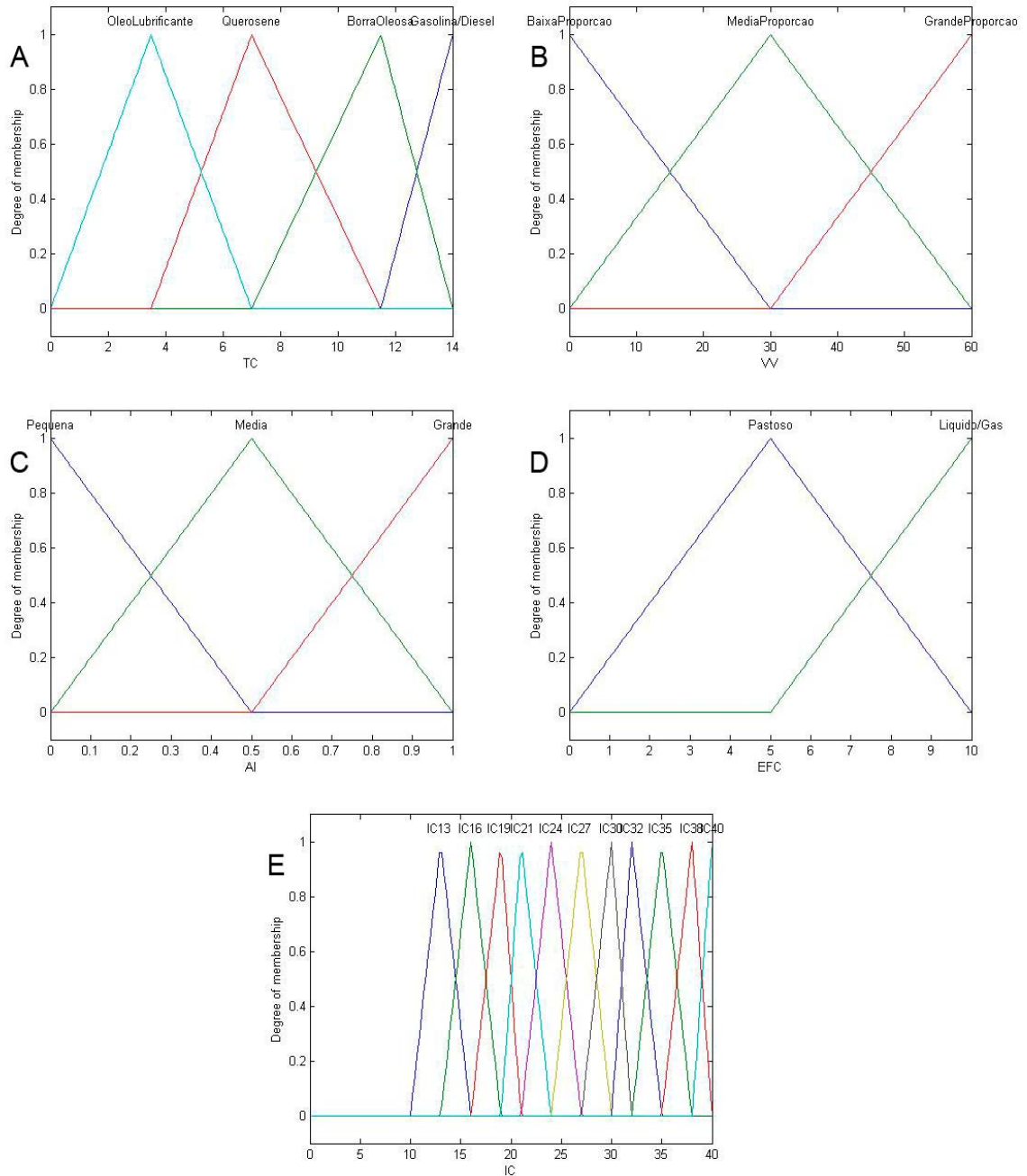


Figura 3. (A) função de pertinência do tipo do contaminante; (B) função de pertinência volume vazado; (C) função de pertinência da área impactada; (D) função de pertinência do estado físico do contaminante; e (E) função de pertinência e variável de saída do índice do contaminante

O Índice de Propagação do Contaminante relativo ao solo (IPCA) é obtido, após o processamento das inferências fuzzy, pela soma aritmética ponderada das pertinências das variáveis linguísticas (Barreira de Contenção ou BC, Topografia do Terreno ou TT, Emissão de Gases), relacionadas a propagação do contaminante. O Índice de Propagação do Contaminante relativo a presença de fontes de água nas proximidades (IPCB) é obtido, após o processamento das inferências fuzzy, pela soma aritmética ponderada das pertinências das variáveis linguísticas (Proximidade de Rios/Córregos ou PRC, Proximidade de Poços Artesianos ou PPA, Espessura do Aquífero ou EA, Precipitação Anual ou PA e Potencial de Inundação ou PI), relacionadas a propagação do Contaminante do contaminante. O Índice de Propagação do Contaminante (IPC) é obtido somando o IPCA e o IPCB

$$IPC = (IPCA + IPCB) * PIPC \quad (3)$$

O Índice do Local da Contaminação (ILC) é obtido após o processamento das inferências fuzzy, pela soma aritmética ponderada das pertinências das variáveis linguísticas (Proximidade com Áreas Residenciais ou PAR, Proximidade com Áreas Comerciais (PAC), Proximidade com Áreas Rurais e Agronegócios (PAA), Proximidade com Escolas e Creches (PEC), Proximidade com Áreas de Preservação Ambiental(PAPA)), relacionadas a bens a proteger e ao local da contaminação.

$$ILC = (PAR + PAC + PAA + PEC + PAP) * PILC \quad (4)$$

Na segunda etapa, a partir dos índices parciais (IC, IPCA, IPCB e ILC), utilizando o método da soma dos máximos, o índice de contaminação global IIAV-PRC é obtido, em um intervalo variando de 19,9 a 100. A especificação do limite inferior do intervalo do IIAV-PRC foi definido baseado na experiência de especialistas.⁶

Classificação do grau de impacto da contaminação e estimativa de multas a serem aplicadas

O cálculo do IIAV-PRC envolve a soma dos índices parciais IC, IPCA, IPCB, e ILC. O IIAV-PRC permite classificar o grau de impacto da contaminação ambiental em leve ($19,9 \leq \text{IIAV-PRC} \leq 47$), grave ($46 \leq \text{IIAV-PRC} \leq 75$) ou gravíssimo ($74 \leq \text{IIAV-PRC} \leq 100$), podendo ser usado como ferramenta de apoio a decisão de consultores e órgãos fiscalizadores sobre o

passivo ambiental gerado por PCR e dos investimentos a serem feitos para compensar os impactos causados ao meio ambiente e a sociedade.

Neste trabalho as estimativas das multas a serem aplicadas pelos órgãos fiscalizadores (Quadro 1), basearam-se no Art. 15 da Instrução Normativa 005/2006 do CPRH¹⁴ e no Art. 37 da Lei Estadual 12.916/2005 do Estado de Pernambuco, que trata dos atenuantes e agravantes dos passivos ambientais.

Quadro 1. Multas relativas aos passivos ambientais em PRC

| Contaminação /Infração | Valor da multa |
|-------------------------------|---|
| Leve | De R\$ 50,00 (cinquenta reais) a R\$ 2.000,00 (dois mil reais) |
| Grave | De R\$ 2.001, 00 (dois mil e um reais) a R\$ 100.000,00 (cem mil reais) |
| Gravíssima | De R\$ 100.001,00 (cem mil e um reais) a R\$ 10.000.000,00 (dez milhões de reais) |

Fonte: Art. 34 da Lei Estadual 12.916/2005

Estudo de caso: Vazamento de diesel em PRC em Abreu e Lima, Pernambuco, Brasil

Um posto de combustível localizado no município de Abreu e Lima, Pernambuco, Brasil, estava sendo reformado quando constatou-se um vazamento de 3.000 litros de óleo diesel através do rompimento da tubulação do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustível (SASC). Como forma de proteção junto aos órgãos fiscalizadores, não foram identificados os nomes dos proprietários, bem como o nome do posto revendedor de combustível onde ocorreu o impacto ambiental.

Os dados obtidos através de entrevistas a consultores técnicos que identificaram o vazamento são: tipo do contaminante - diesel, volume vazado - 3 m³, área impactada - 1ha, estado físico do contaminante - líquido, sem barreiras de contenção no local onde ocorreu o rompimento da tubulação, terreno sem declividade, pouca ou nenhuma emissão de gases, existência de um córrego a menos de 30 metros do local do vazamento, sem identificação de poços artesianos nas proximidades do local, espessura do aquífero, considerando a média da região - 3 metros, média de precipitação anual no município - 1634 mm¹⁵, registros de pelo menos 2 inundações a cada 10 anos e localização do PRC em área onde existem residências e comércio a menos de

300 metros e a aproximadamente 5 quilômetros de escolas/creches, áreas de agronegócio e áreas de preservação ambiental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicação do IIAV-PRC a Estudo de Caso de Vazamento de Óleo Diesel em PRC

Os resultados da aplicação do IIAV-PRC ao estudo de caso de vazamento de óleo diesel em PRC, localizado na cidade de Abreu e Lima, no estado de Pernambuco, Brasil são apresentados na Tabela 1

Tabela 1. Resultado da aplicação do IIAV-PRC ao estudo de caso de vazamento em PRC localizado na cidade de Abreu e Lima, Pernambuco, Brasil.

| Variável linguística | Intervalo de variação | Valor do Índice |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| IC | 3,5 – 40,0 | 31,2 |
| IPC = (IPCA + IPCB) | 0,6 – 40,0 | 20,9 |
| IPCA | 0,1 – 15,0 | 5,1 |
| IPCB | 0,5 – 25,0 | 15,8 |
| ILC | 6,0 – 20,0 | 11,6 |
| IIAV-PRC | 19,9 – 100,0 | 63,7 |

O IIAV-PRC obtido, indica que o impacto da contaminação por vazamento de óleo diesel gerada pelo PRC, localizado em Abreu e Lima, foi grave.

Com apoio do IIAV-PRC, a multa a ser aplicada pelos órgãos fiscalizadores aos responsáveis (arrendatários e/ou proprietários e/ou distribuidoras), foi estimada em R\$ 87.021,85 (oitenta e sete mil, vinte e um reais e oitenta e cinco centavos).

Quanto maior o valor do IIAV-PRC, que varia de um mínimo de 19,9 a um máximo de 100, maior o grau de contaminação da área impactada e maior o passivo ambiental, indicando uma maior urgência no processo de decisão sobre a intervenção/remediação da área contaminada.

Os resultados também revelam que no caso estudado, as contribuições dos fatores de risco potencial de contaminação, a saber, fonte do contaminante, propagação do contaminante e bens a proteger/localização da contaminação contribuíram respectivamente com cerca de 50%, 33% e 18% do impacto da contaminação ambiental total.

O cálculo do IIAV-PRC envolve a soma dos índices parciais IC, IPCA, IPCB, e ILC. Base de regras, procedimentos de inferência e superfícies de respostas para cada um destes índices em função das correspondentes variáveis linguísticas de entrada, são geradas pelo SIF, cuja estrutura geral encontra-se representada na Figura 2.

Na Figura 4 (A-F) encontram-se ilustrados as superfícies de resposta do índice IC em função das variáveis linguísticas de entrada. Estas superfícies permitem analisar como as interações entre as variáveis de entrada afetam o comportamento da variável de saída índice parcial do contaminante (IC). Entre os diversos tipos de contaminante, a gasolina (estado físico líquido), associada a volumes de vazamento e áreas impactadas elevados produz os maiores valores de IC.

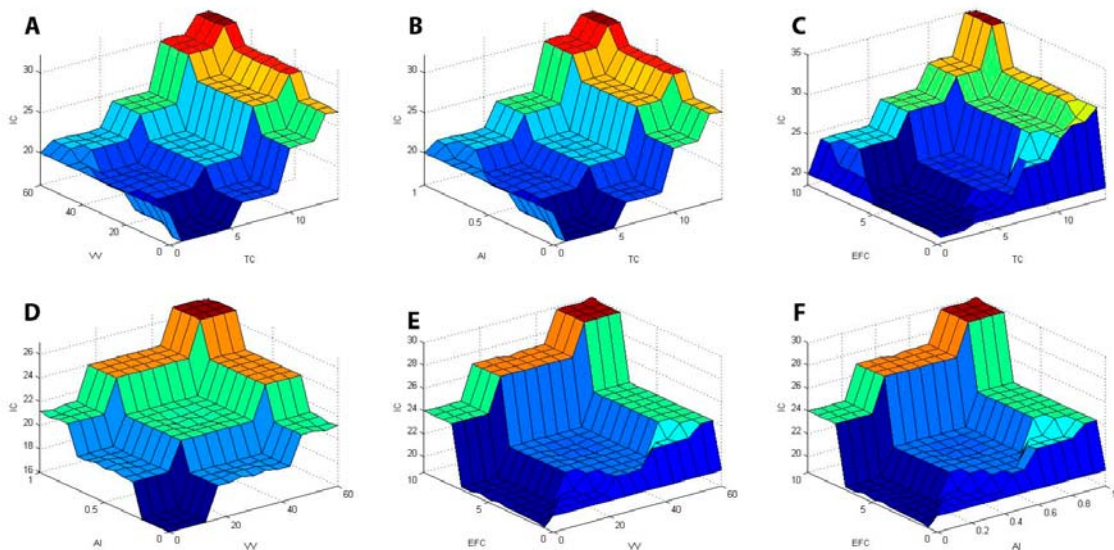


Figura 4. Superfícies de resposta das variáveis relacionadas com a formação do IC (A) relacionamento entre o tipo do contaminante e o volume vazado; (B) relacionamento entre o tipo do contaminante e a área impactada; (C) relacionamento entre o tipo e o estado físico do contaminante; (D) relacionamento entre a área impactada e o volume vazado; (E) relacionamento entre o volume vazado e o estado físico do contaminante; e (F) relacionamento entre o estado físico do contaminante e a área impactada

As setenta e duas (72) regras criadas pelo SIF para a obtenção do IC em função do tipo do contaminante, do volume vazado, da área impactada e do estado físico do contaminante estão ilustradas na Figura 5.

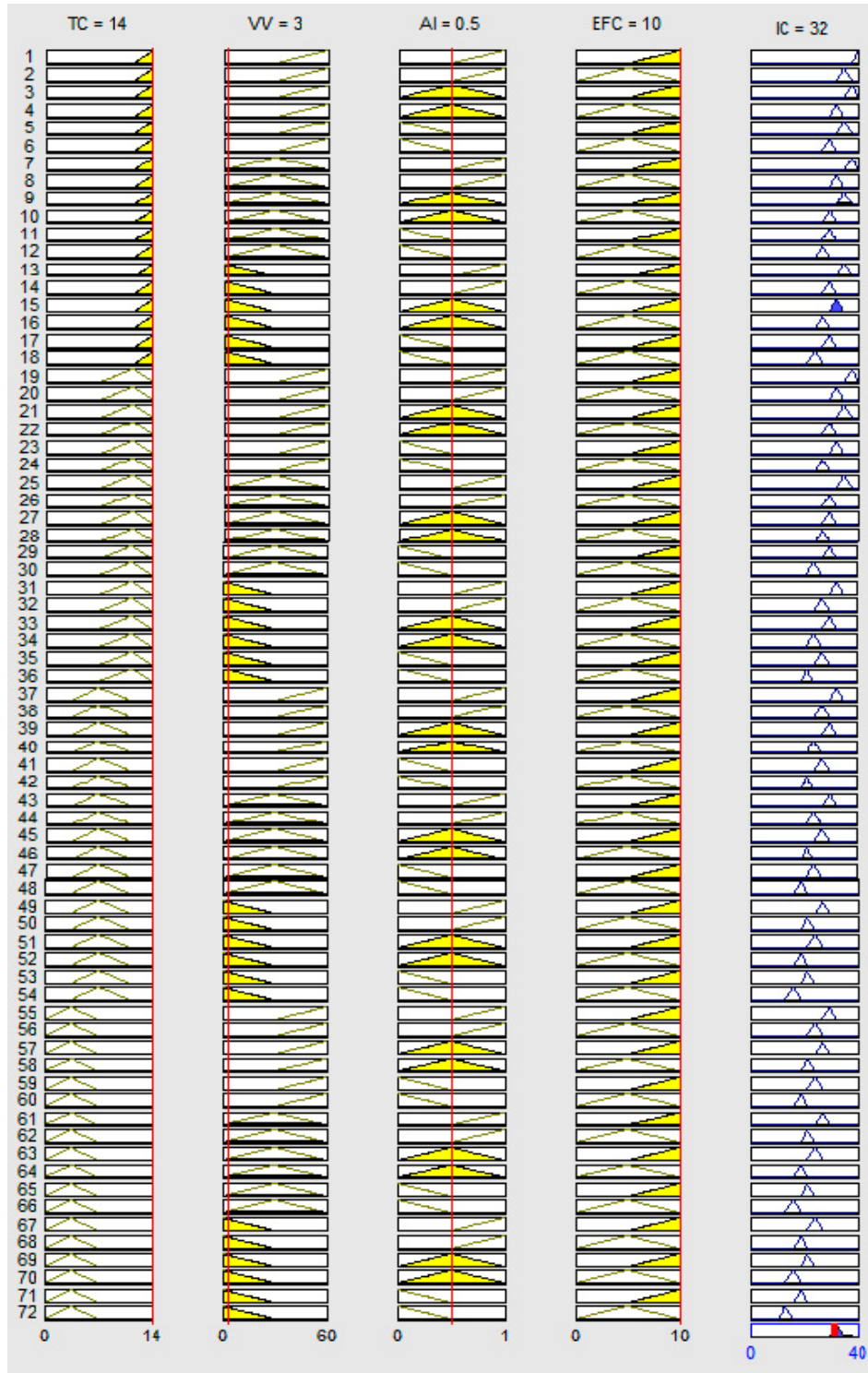


Figura 5. Base de Regras para processo de Inferência para a obtenção do Índice de Impacto Ambiental do Contaminante (IC)

Validação do SIF

Dados de estudo de caso de um vazamento de gasolina – utilizados na validação SIF de aplicação geral para obtenção de índice de classificação de impacto ambiental (IPGC - Índice de Prioridade do Grau de Contaminação)⁶ - foram aplicados na validação do SIF desenvolvido neste trabalho (Tabela 2) para obtenção de índice de impacto ambiental da contaminação gerada, especificamente, por vazamentos em PRC (IIAV-PRC). A diferença entre os índices IPCG(77,8) e IIAV-PRC (81,6) foi inferior a 5%, podendo ser considerada satisfatória quando comparada a estudos de casos^{16,17}, relatados na literatura, que mostram que índices de avaliação de risco fuzzy em pequenos e médios vazamentos diferem em 20-30% e 8%, respectivamente, dos riscos obtidos usando índices clássicos.

Tabela 2. Resultado da aplicação do IIAV-PRC a dados obtidos de estudo de caso de vazamento de gasolina relatado na literatura⁶.

| Variável Linguística | Intervalo de Variação | Valor do Índice |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| IC | 3,5 – 40,0 | 40,0 |
| IPC = (IPCA + IPCB) | 0,6 – 40,0 | 31,6 |
| IPCA | 0,1 – 15,0 | 12,5 |
| IPCB | 0,5 – 25,0 | 19,1 |
| ILC | 6,0 – 20,0 | 10,0 |
| ICACC-PRC | 19,9 – 100,0 | 81,6 |

A comparação entre os resultados dos índices IPCG e IIAV-PRC sugere que há uma tendência do primeiro apresentar valores inferiores, ou seja, o IIAV-PRC mostrou-se mais rígido na classificação do impacto ambiental no estudo do caso de vazamento de gasolina analisado, haja vista que quanto maior o IIAV-PRC, maior o grau de contaminação da área estudada, indicando uma maior urgência no processo de decisão sobre a intervenção/remediação da área contaminada, bem como aplicação de multas e sanções mais elevadas. Devido a escassez de trabalhos na literatura sobre o assunto e de SIF com objetivos similares, o SIF desenvolvido neste trabalho, poderá ser uma ferramenta extremamente útil para estimativas tanto dos impactos ambientais gerados por PRC, quanto das obrigações e investimentos das empresas envolvidas para compensar os impactos causados a natureza.

CONCLUSÃO

O SIF desenvolvido mostrou ser adequado tanto para integração de informações de dezessete diferentes variáveis relacionadas a três fatores de riscos potencial de contaminação de área (fonte do contaminante, propagação do contaminante e bens a proteger/localização), quanto para determinação e classificação do índice de impacto ambiental produzido por vazamentos em postos revendedores de combustíveis; podendo ser utilizado - por órgãos fiscalizadores, arrendatários, proprietários e distribuidoras - como ferramenta de apoio para tomada de decisão sobre a gravidade (dimensão) do dano causado pelo vazamento e/ou derramamentos acidentais ocorridos e sobre o passivo ambiental.

REFERÊNCIAS

1. Trovão, R. S.; *Dissertação de Mestrado em Engenharia*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 2006.
2. CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental)/ GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, São Paulo, 1999.
3. Upchurch, C.; Kuby, M.; *Journal of Transport Geography* (2010), doi: 10.1016/j.jtrangeo.2010.06.015.
4. Aslani, M.; Alesheikh, A.A.; *Scientific Research and Essays* (2011), doi: 10.5897/SRE10.1109.
5. Gomes Filho, F. M.; *Dissertação de Mestrado em Engenharia de Petróleo e Gás*, Universidade Potiguar, Brasil, 2014.
6. Silva, M. A. B.; *Tese de Doutorado em Engenharia Civil*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 2005.
7. Van Der Werf, H. M. G.; Zimmer, C.; *Chemosphere* (1998), doi:10.1016/S0045-6535(97)10194-1.
8. Zadeh, L. A.; *Information and Control* (1965), doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
9. Galvão, C. O.; *Sistemas Inteligentes: Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais*, Valença, M. J. S.; (Org.); Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS /ABRH, 1999.

10. Ross, T. J.; *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, 3th ed., New York, 2010.
11. Soroush, F.; Mousavi, S. F.; Gharechahi, A.; *IJST, Transactions of Civil and Environmental Engineering* 2011, 35, 131-136.
12. Gharibi, H.; Sowlat, M. H.; Mahvi, A. H.; Mahmoudzadeh, H.; Arabalibeik, H.; Keshavarz, M.; Karimzadeh, N.; Hassani, G.; *Ecological Indicators* (2012), doi:10.1016/j.ecolind.2012.02.015.
13. http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf, acessada em Novembro 2014.
14. http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/IN%2005%202006%20POSTOS;140606;20100420.pdf, acessada em Agosto 2014.
15. <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/AELI001.pdf>, acessada em Novembro 2014.
16. Markowski, A.S.; Mannan, M.S.; Bigoszevska, A.; *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **2009**, 22, 695-702.
17. Khaleghi, S; Givehchi, S.; Karimi, S.; *World Applied Programming*, **2013**, 3, 417-426.

CONCLUSÕES GERAIS

O desenvolvimento de uma ferramenta voltada para ser aplicada no dimensionamento do passivo ambiental gerado por vazamentos em postos revendedores de combustíveis (PRC), foi de grande valia para apoio na tomada de decisão, bem como, na classificação do impacto ambiental, com base na legislação vigente e na aplicação das penalidades aos responsáveis pela contaminação nos PRC.

A utilização da lógica *fuzzy* permitiu a simplificação dos processos e uma melhor compreensão dos resultados, como também, rapidez no processamento dos dados obtidos. A ferramenta poderá, em projetos futuros, ser implementada em conjunto com outras tecnologias, a exemplo de uma aplicação neuro-fuzzy.

ANEXOS

ANEXO I Variáveis de entrada

Tabela I.1 Variáveis do Tipo do contaminante (TC)

| Contaminante | Variável <i>Fuzzy</i> | Peso | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|--------------------|-----------------------|------|---------------------------------------|
| Gasolina ou diesel | Gasolina/Diesel | 14 | {{(0; 0), (11,5; 0), (14; 1)} |
| Borra oleosa | Borra oleosa | 11,5 | {{(0; 0), (7; 0), (11,5; 1), (14; 0)} |
| Querosene | Querosene | 7 | {{(3,5; 0), (7; 1), (11,5; 0)} |
| Óleo lubrificante | Óleo lubrificante | 3,5 | {{(0; 0), (3,5; 1), (7; 0)} |

Tabela I.2 Variáveis do Volume vazado (VV)

| Volume | Variável <i>Fuzzy</i> | Peso | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|-------------------------------------|-----------------------|------|-----------------------------|
| >30m ³ <60m ³ | Grande proporção | 8 | {{(40; 0), (60; 1)} |
| >10m ³ <30m ³ | Média proporção | 4,8 | {{(20; 0), (40; 1) (60; 0)} |
| >0m ³ <10m ³ | Pouca proporção | 2,4 | {{(0; 0), (20; 1) (40; 0)} |

Tabela I.3 Variáveis da Área impactada (AI)

| Área | Variável <i>Fuzzy</i> | Peso | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|-------------|-----------------------|------|-----------------------------|
| >1ha | Grande | 8 | {{(0,5; 0), (1; 1)} |
| >0,5ha <1ha | Média | 4,8 | {{(0; 0), (0,5; 1), (1; 0)} |
| >0ha <0,5ha | Pequena | 2,4 | {{(0; 1), (0,5; 0)} |

Tabela I.4 Variáveis do Estado físico do contaminante (EFC)

| Estado físico | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|
| Líquido/Gás | Líquido/Gás | 10 | {{(0; 0), (5; 0), (10; 1)}} |
| Pastoso | Pastoso | 5 | {{(0; 0), (5; 1), (10; 0)}} |

Tabela I.5 Variáveis da Existência de barreiras de contenção (BC)

| Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------------------------|-------------|------------------------------|
| Sem barreiras de contenção | 5 | {{(0; 0), (2,5; 0), (5; 1)}} |
| Com barreias parciais de contenção | 2,5 | {{(0; 0), (2,5; 1), (5; 0)}} |
| Com barreias de contenção | 0 | {{(0; 1), (2,5; 0)}} |

Tabela I.6 Variáveis da Topografia do terreno (TT)

| Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|-----------------------|-------------|--|
| Alta declividade | 5 | {{(0; 0), (3,2; 0), (5; 1)}} |
| Média declividade | 3,2 | {{(0; 0), (1,6; 0), (3,2; 1), (5; 0)}} |
| Baixa declividade | 1,6 | {{(0; 0), (1,6; 1), (3,2; 0)}} |
| Sem declividade | 0 | {{(0; 1), (1,6; 0)}} |

Tabela I.7 Variáveis da Emissão de gases (EG)

| Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|-------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Grande emissão de gases | 5 | {{(0; 0), (2,5; 0), (5; 1)}} |
| Emissão de gases em áreas restritas | 2,5 | {{(0; 0), (2,5; 1), (5; 0)}} |
| Pouca ou nenhuma emissão de gases | 0,1 | {{(0; 0), (0,1; 1), (2,5; 0)}} |

Tabela I.8 Variáveis da Proximidade de rios/córregos (PRC)

| Distância | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|----------------------------------|
| >0m <300m | Próximo | 5 | {(600; 0,1), (300; 0,5), (0; 1)} |
| >300m <600m | Moderado | 2,5 | |
| >600m | Distante | 0,1 | |

Tabela I.9 Variáveis da Proximidade de poços artesianos (PPA)

| Distância | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|----------------------------------|
| >0m <300m | Próximo | 5 | {(600; 0,1), (300; 0,5), (0; 1)} |
| >300m <600m | Moderado | 2,5 | |
| >600m | Distante | 0,1 | |

Tabela I.10 Variáveis da Espessura do aquífero (EA)

| Espessura | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|---------------------------------|
| <3m | Estreito | 5 | {(10; 0,1), (6,5; 0,5), (3; 1)} |
| >3m <10m | Mediano | 2,5 | |
| >10m | Largo | 0,1 | |

Tabela I.11 Variáveis da Precipitação anual (PA)

| Quantidade | Variável <i>Fuzzy</i> | Peso | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|--------------------|-------------------------------|------|---|
| >1800mm <2000mm | Alto índice pluviométrico | 5 | $\{(0; 0,1), (800; 0,4), (1200; 0,6), (1800; 0,9), (2000; 1)\}$ |
| >1200mm <1800mm | Médio índice pluviométrico | 3,2 | |
| >800mm <1200mm | Moderado índice pluviométrico | 1,6 | |
| >0mm <800mm | Baixo índice pluviométrico | 0,1 | |

Tabela I.12 Variáveis do Potencial de inundação (PI)

| Frequência | Variável <i>Fuzzy</i> | Peso | Pertinência |
|----------------------|-----------------------|------|----------------------------------|
| + 1 vez ao ano | Muito Frequente | 5 | $\{(0; 0), (2,5; 0), (5; 1)\}$ |
| 1 vez por ano | Frequente | 2,5 | $\{(0; 0), (2,5; 1), (5; 0)\}$ |
| 1 vez a cada 10 anos | Pouco Frequente | 0,1 | $\{(0; 0), (0,1; 1), (2,5; 0)\}$ |

Tabela I.13 Variáveis da Proximidade com áreas residenciais (PAR)

| Distância | Variável <i>Fuzzy</i> | Peso | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|---------------|-----------------------|------|---|
| >0m <300m | Muito próximo | 4 | $\{(5000; 0), (1000; 0,2), (300; 0,06), (0; 1)\}$ |
| >300m <1000m | Próximo | 2,4 | |
| >1000m <5000m | Distante | 1,2 | |

Tabela I.14 Variáveis da Proximidade com áreas comerciais (PAC)

| Distância | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|---|
| >0m <300m | Muito próximo | 4 | {(5000; 0), (1000; 0,2), (300; 0,06), (0; 1)} |
| >300m <1000m | Próximo | 2,4 | |
| >1000m <5000m | Distante | 1,2 | |

Tabela I.15 Variáveis da Proximidade com áreas rurais e de agronegócio (PAA)

| Distância | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|---|
| >0m <300m | Muito próximo | 4 | {(5000; 0), (1000; 0,2), (300; 0,06), (0; 1)} |
| >300m <1000m | Próximo | 2,4 | |
| >1000m <5000m | Distante | 1,2 | |

Tabela I.16 Variáveis da Proximidade de escolas e/ou creches (PEC)

| Distância | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|---|
| >0m <300m | Muito próximo | 4 | {(5000; 0), (1000; 0,2), (300; 0,06), (0; 1)} |
| >300m <1000m | Próximo | 2,4 | |
| >1000m <5000m | Distante | 1,2 | |

Tabela I.17 Variáveis da Proximidade com áreas de preservação ambiental (PAP)

| Distância | Variável Fuzzy | Peso | Conjunto Fuzzy |
|------------------|-----------------------|-------------|---|
| >0m <300m | Muito próximo | 4 | {(5000; 0), (1000; 0,2), (300; 0,06), (0; 1)} |
| >300m <1000m | Próximo | 2,4 | |
| >1000m <5000m | Distante | 1,2 | |

ANEXO II Variáveis de saída

Tabela II.1 Variáveis do Índice do Contaminante (IC)

| Variável | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|----------|---------------------------------------|
| IC40 | {{(0; 0), (38; 0), (40; 1)}} |
| IC38 | {{(0; 0), (35; 0), (38; 1), (40; 0)}} |
| IC35 | {{(0; 0), (32; 0), (35; 1), (38; 0)}} |
| IC32 | {{(0; 0), (30; 0), (32; 1), (35; 0)}} |
| IC30 | {{(0; 0), (27; 0), (30; 1), (32; 0)}} |
| IC27 | {{(0; 0), (24; 0), (27; 1), (30; 0)}} |
| IC24 | {{(0; 0), (21; 0), (24; 1), (27; 0)}} |
| IC21 | {{(0; 0), (19; 0), (21; 1), (24; 0)}} |
| IC19 | {{(0; 0), (16; 0), (19; 1), (21; 0)}} |
| IC16 | {{(0; 0), (13; 0), (16; 1), (19; 0)}} |
| IC13 | {{(0; 0), (10; 0), (13; 1), (16; 0)}} |

Tabela II.2 Variáveis da Propagação do Contaminante sem a presença de água (PCA)

| Variável | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|----------|---|
| PCA15 | {{(0; 0), (13,5; 0), (15; 1)}} |
| PCA13_5 | {{(0; 0), (12; 0), (13,5; 1), (15; 0)}} |
| PCA12 | {{(0; 0), (10,5; 0), (12; 1), (13,5; 0)}} |
| PCA10_5 | {{(0; 0), (9; 0), (10,5; 1), (12; 0)}} |
| PCA9 | {{(0; 0), (7,5; 0), (9; 1), (10,5; 0)}} |
| PCA7_5 | {{(0; 0), (6; 0), (7,5; 1), (9; 0)}} |
| PCA6 | {{(0; 0), (4,5; 0), (6; 1), (7,5; 0)}} |
| PCA4_5 | {{(0; 0), (3; 0), (4,5; 1), (6; 0)}} |
| PCA3 | {{(0; 0), (1,5; 0), (3; 1), (4,5; 0)}} |
| PCA1_5 | {{(0; 0), (0,1; 0), (1,5; 1), (3; 0)}} |
| PCA0_1 | {{(0; 0), (0,1; 1), (1,5; 0)}} |

Tabela II.3 Variáveis da Propagação do Contaminante com a presença de água (PCB)

| Variável | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|----------|--------------------------------|
| PCB | {{(0; 0), (25; 1), (25,1; 0)}} |

Tabela II.4 Variáveis do Índice da Localização da Contaminação (ILC)

| Variável | Conjunto <i>Fuzzy</i> |
|----------|--------------------------------|
| ILC | {{(6; 0), (20; 1), (20,1; 0)}} |

ANEXO III Base de regras

Tabela III.1 Base de Regras do Índice do Contaminante (IC)

| Regra | Base de regras |
|-------|---|
| 1 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC40) (1) |
| 2 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC35) (1) |
| 3 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC38) (1) |
| 4 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC32) (1) |
| 5 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC35) (1) |
| 6 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC30) (1) |
| 7 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC38) (1) |
| 8 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC32) (1) |
| 9 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC35) (1) |
| 10 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC30) (1) |
| 11 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 12 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC27) (1) |
| 13 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC35) (1) |
| 14 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC30) (1) |
| 15 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC32) (1) |
| 16 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC27) (1) |
| 17 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 18 | If (TC is Gasolina/Diesel) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC24) (1) |
| 19 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC38) (1) |
| 20 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC32) (1) |

| | |
|----|---|
| 21 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC35) (1) |
| 22 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC30) (1) |
| 23 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC32) (1) |
| 24 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC27) (1) |
| 25 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC35) (1) |
| 26 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC30) (1) |
| 27 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 28 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC27) (1) |
| 29 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 30 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC24) (1) |
| 31 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC32) (1) |
| 32 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC27) (1) |
| 33 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 34 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC24) (1) |
| 35 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC27) (1) |
| 36 | If (TC is BorraOleosa) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC21) (1) |
| 37 | If (TC is Querosene) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC32) (1) |
| 38 | If (TC is Querosene) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC27) (1) |
| 39 | If (TC is Querosene) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 40 | If (TC is Querosene) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC24) (1) |
| 41 | If (TC is Querosene) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC27) (1) |
| 42 | If (TC is Querosene) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC21) (1) |
| 43 | If (TC is Querosene) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |

| | |
|----|--|
| 44 | If (TC is Querosene) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC24) (1) |
| 45 | If (TC is Querosene) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC27) (1) |
| 46 | If (TC is Querosene) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC21) (1) |
| 47 | If (TC is Querosene) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC24) (1) |
| 48 | If (TC is Querosene) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC19) (1) |
| 49 | If (TC is Querosene) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC27) (1) |
| 50 | If (TC is Querosene) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC21) (1) |
| 51 | If (TC is Querosene) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC24) (1) |
| 52 | If (TC is Querosene) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC19) (1) |
| 53 | If (TC is Querosene) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC21) (1) |
| 54 | If (TC is Querosene) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC16) (1) |
| 55 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC30) (1) |
| 56 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC24) (1) |
| 57 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC27) (1) |
| 58 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC21) (1) |
| 59 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC24) (1) |
| 60 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is GrandeProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC19) (1) |
| 61 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC27) (1) |
| 62 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC21) (1) |
| 63 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC24) (1) |
| 64 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC19) (1) |
| 65 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC21) (1) |
| 66 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is MediaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC16) (1) |

| | |
|----|---|
| 67 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC24) (1) |
| 68 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Grande) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC19) (1) |
| 69 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC21) (1) |
| 70 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Media) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC16) (1) |
| 71 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Liquido/Gas) then (IC is IC19) (1) |
| 72 | If (TC is OleoLubrificante) and (VV is BaixaProporcao) and (AI is Pequena) and (EFC is Pastoso) then (IC is IC13) (1) |

Tabela III.2 Base de Regras do IPCA

| Regra | Base de Regras |
|-------|--|
| 1 | If (BC is SemBarreias) and (TT is AltDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA15) (1) |
| 2 | If (BC is SemBarreias) and (TT is AltDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA12) (1) |
| 3 | If (BC is SemBarreias) and (TT is AltDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA10_5) (1) |
| 4 | If (BC is SemBarreias) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA13_5) (1) |
| 5 | If (BC is SemBarreias) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA10_5) (1) |
| 6 | If (BC is SemBarreias) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA9) (1) |
| 7 | If (BC is SemBarreias) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA12) (1) |
| 8 | If (BC is SemBarreias) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA9) (1) |
| 9 | If (BC is SemBarreias) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA6) (1) |
| 10 | If (BC is SemBarreias) and (TT is SemDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA10_5) (1) |
| 11 | If (BC is SemBarreias) and (TT is SemDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA7_5) (1) |
| 12 | If (BC is SemBarreias) and (TT is SemDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA4_5) (1) |
| 13 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is AltDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA12) (1) |
| 14 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is AltDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA10_5) (1) |

| | |
|----|---|
| 15 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is AltDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA7_5) (1) |
| 16 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA10_5) (1) |
| 17 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA7_5) (1) |
| 18 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA6) (1) |
| 19 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA9) (1) |
| 20 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA6) (1) |
| 21 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA4_5) (1) |
| 22 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is SemDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA7_5) (1) |
| 23 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is SemDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA4_5) (1) |
| 24 | If (BC is BarreiasParciais) and (TT is SemDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA3) (1) |
| 25 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is AltDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA10_5) (1) |
| 26 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is AltDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA7_5) (1) |
| 27 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is AltDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA4_5) (1) |
| 28 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA7_5) (1) |
| 29 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA6) (1) |
| 30 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is MediaDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA3) (1) |
| 31 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA6) (1) |
| 32 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA4_5) (1) |
| 33 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is BaixaDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA1_5) (1) |
| 34 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is SemDeclividade) and (EG is GrandeEmissao) then (PCA is PCA4_5) (1) |
| 35 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is SemDeclividade) and (EG is EmissaoRestrita) then (PCA is PCA3) (1) |
| 36 | If (BC is ComBarreiras) and (TT is SemDeclividade) and (EG is PoucaNenhuma) then (PCA is PCA0_1) (1) |

Tabela III.3 Base de Regras do IPCB

| Regra | Base de Regras |
|--------------|---|
| 1 | If (PRC is PRC) and (PPA is PPA) and (EA is EA) and (PA is PA) and (PI is PoucoFrequente) then (PCB is PCB) (1) |
| 2 | If (PRC is PRC) and (PPA is PPA) and (EA is EA) and (PA is PA) and (PI is Frequente) then (PCB is PCB) (1) |
| 3 | If (PRC is PRC) and (PPA is PPA) and (EA is EA) and (PA is PA) and (PI is MuitoFrequente) then (PCB is PCB) (1) |

Tabela III.4 Base de Regras do ILC

| Regra | Base de Regras |
|--------------|--|
| 1 | If (PAR is AreaResidencial) and (PAC is AreaComercial) and (PAA is AreaAgricola) and (PEC is AreaEscolar) and (PAP is AreaPreservacao) then (output1 is ILC) (1) |

ANEXO IV *Template* para submissão de artigo científico para Revista Química Nova

Graphical Abstract

Insira aqui a imagem do Graphical Abstract (textos dentro da imagem devem ser em inglês)

Insira aqui o texto descritivo do Graphical Abstract (de 2 a 3 linhas, em inglês)

A REAÇÃO DE METÁTESE DE OLEFINAS: REORGANIZAÇÃO E CICLIZAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS título: todas as letras maiúsculas

José A. Benício^a, Maria C. Cavalcante^b e João D. de Almeida^{a,*} marcar com asterisco o autor que submeteu o artigo

^aAqui vai o endereço. Lembre-se de que a menor unidade usada deve ser o departamento (não citar laboratório, grupo, etc), depois instituto (se houver), depois universidade. Sempre tudo por extenso. Exemplo: Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, 87020-900 Maringá – PR, Brasil

^bCaso haja autores de outro instituto, separar os autores por endereço, como foi feito aqui. Nesse caso, aqui entra o endereço de Maria C. Cavalcante

-----*marque uma alternativa, não apague o texto em azul*-----

Manuscrito com material suplementar

Manuscrito sem material suplementar

*e-mail: insira aqui o email do autor que submeteu o artigo

THE OLEFIN METATHESIS REACTION: REORGANIZATION AND CICLIZATION OF ORGANIC COMPOUNDS **título em inglês do seu manuscrito, com todas as letras máisculas e sem negrito**

Aqui deve ser escrito o abstract do seu artigo, não se esqueça de que ele deve apresentar no máximo 200 palavras.

Keywords: keyword1; keyword2; keyword3. **insira entre 3 e 5 keywords**

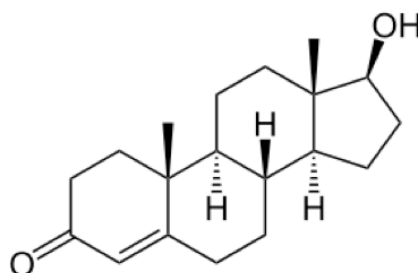
INTRODUÇÃO

Os títulos da seção são escritos com todas as letras maiúsculas e em negrito. Deve haver espaçamento antes e depois do título da seção.

Subtítulo1 subtítulo– Apenas a 1ª letra maiúscula, em negrito. Deve haver espaçamento antes e depois do subtítulo

Aqui entra o seu texto. Caso haja alguma citação a ser feita, ela deve seguir este padrão.¹ Caso queira citar um intervalo de três ou mais referências em sequência, use dessa forma.²⁻⁴ Quando forem apenas duas ou não estiverem em sequência, usar a vírgula.^{1,3,5} Repare que todas elas aparecem logo após a pontuação e não apresentam espaços.

Como pode perceber, os parágrafos não apresentam tabulações. Favor manter esse padrão durante todo o texto. Caso queira inserir uma figura, seguir o padrão como na Figura 1.



Testosterone (C₁₉H₂₈O₂)

Figura 1. *A descrição da figura deve ter esse formato. Em itálico e sem ponto final*

Todas as figuras devem ser incluídas no texto, logo após serem citadas pela primeira vez. Tabelas também são indicadas como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Siga esse padrão. O título em negrito e a descrição do título sem negrito ou itálico. Não colocar ponto final

| | |
|--|--|
| | |
| | |

Ao final do rodapé das tabelas: deve ter ponto final.

Deve haver espaço entre número e unidade (por exemplo, 1 h) e as unidades devem ser abreviadas.
Termos ou expressões em inglês ou em latim – em itálico

Subtítulo2

Sub-subtítulo **Sub-subtítulo de seção só a 1^a em maiúscula e em itálico. Deve haver espaçamento apenas antes do sub-subtítulo.**

As figuras (incluindo gráficos, esquemas, etc) deverão ser em número máximo de 7 figuras e ter qualidade gráfica adequada (usar somente fundo branco). Para número maior, utilizar o Material Suplementar. A resolução mínima é de 300 dpi. No caso particular de esquemas contendo estruturas químicas, estas deverão ter sempre a mesma dimensão, para que possam ser reduzidas uniformemente, além de boa qualidade gráfica

Outro subtítulo do trabalho

Outro sub-subtítulo do trabalho

PARTE EXPERIMENTAL

Primeiro subtítulo da parte experimental

Primeiro sub-subtítulo da parte experimental

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiro subtítulo dos resultados e discussão

Primeiro sub-subtítulo dos resultados e discussão

CONCLUSÃO

MATERIAL SUPLEMENTAR

Quando houver material suplementar, ele deve ser indicado aqui, com a descrição do material, similar a: Algumas imagens dos sistemas utilizados neste trabalho estão disponíveis em <http://quimicanova.sbq.org.br>, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos vão aqui. Caso queira agradecer a uma pessoa, apenas o último sobrenome deve ser por extenso, por exemplo A. B. Cardoso.

REFERÊNCIAS

Artigo:

1. Tavares, L. C.; *Quim. Nova* **2004**, 27, 631.

Artigo de uma revista de difícil acesso – deve-se citar o número de Chemical Abstract

2. Provstyanoi, M. V.; Logachev, E. V.; Kochergin, P. M.; Beilis, Y. I.; *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved.; Khim. Khim. Tekhnol.* **1976**, 19, 708. (CA 85:78051s).

Artigo com número de DOI, mas sem a referência completa:

3. Vidotti, M.; Silva, M. R.; Salvador, R. P.; de Torresi, S. I. C.; Dall'Antonia, L. H.; *Electrochimica Acta* (2007), doi:10.1016/j.electacta.2007.11.029.

Patentes - na medida do possível o número do Chemical Abstracts deve ser informado entre parênteses:

4. Hashiba, I.; Ando, Y.; Kawakami, I.; Sakota, R.; Nagano, K.; Mori, T.; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho* 79 73,771 **1979**. (CA 91:P193174v)

5. Kadin, S.B.; *US pat.* 4,730,004 **1988**. (CA 110:P23729y)

6. Eberlin, M. N.; Mendes, M. A.; Sparrapan, R.; Kotiaho, T. *Br PI* 9.604.468-3, **1999**.

Livro com editor(es):

7. Regitz, M. Em *Multiple Bonds and Low Coordination in Phosphorus Chemistry*; Regitz, M.; Scherer, O. J., eds.; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, 1990, cap. 2.

Livro sem editor(es):

8. Cotton, F. A.; Wilkinson, G.; *Advanced Inorganic Chemistry*, 5th ed., Wiley: New York, 1988.

Programas de computação (Softwares):

9. Sheldrick, G. M.; *SHELXL-93; Program for Crystal Structure Refinement*; Universidade de Göttingen, Alemanha, 1993.

Teses e dissertações:

10. Velandia, J. R.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

Material apresentado em Congressos:

11. Ferreira, A. B; Brito, S. L.; *Resumos da 20a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Poços de Caldas, Brasil, 1998.

Páginas de Internet:

12. <http://www.s bq.org.br/jbcs>, acessada em Junho 2001.

Material não publicado:

Para material aceito para publicação: Magalhães, U. H.; *J. Braz. Chem. Soc.*, no prelo.

Para material submetido mas ainda não aceito: Magalhães, U. H.; *J. Braz. Chem. Soc.*, submetido.

Para trabalho não publicado ou comunicação pessoal: Magalhães, U. H.; trabalho não publicado ou Magalhães, U. H., comunicação pessoal. Os resultados não publicados só poderão ser citados com a permissão explícita das pessoas envolvidas na sua obtenção.

P.S.: os títulos dos periódicos devem ser abreviados. Antes da submissão do trabalho, por favor, confira se as abreviaturas estão corretas no website: <http://cassi.cas.org>. Caso a abreviatura autorizada de uma determinada revista não puder ser localizada com a ferramenta CASSI, deve-se citar o título completo.

Se a referência for livro, lembre-se de que é necessário indicar editora, cidade e ano de publicação.

MATERIAL SUPLEMENTAR

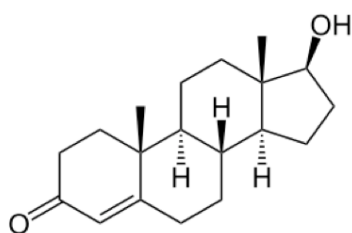
Caso seu manuscrito contenha material suplementar, escreva aqui, após as referências, o texto e também insira as figuras, tabelas e esquemas. Não esqueça que as legendas das figuras e títulos das tabelas se diferenciam das do texto principal por conter a letra S. Por exemplo:

Tabela 1S. Siga esse padrão. O título em negrito e a descrição do título sem negrito ou itálico. Não colocar ponto final

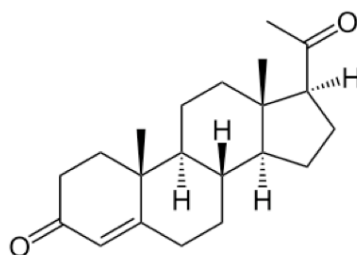
| | |
|--|--|
| | |
| | |

Ao final do rodapé das tabelas: deve ter ponto final.

Exemplo de figura:



Testosterone (C₁₉H₂₈O₂)



Progesterone (C₂₁H₃₀O₂)

Figura 1S. *A descrição da figura deve ter esse formato. Em itálico e sem ponto final*

Atenção: As figuras e tabelas devem ser inseridas no texto, como indicado neste template, mas também devem ser inseridos os arquivos originais separadamente na plataforma ScholarOne. Todas as figuras devem ter alta resolução. Figuras em baixa resolução causam atrasos na publicação de seu trabalho. Para mais detalhes, consultar as “Instruções para Autores” em nosso website.