



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

VITTORIA EMANOUELLA M. SOARES DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ÁREAS
CLASSIFICADAS**

**São Luís, MA
JULHO, 2017**

VITTORIA EMANOUELLA M. SOARES DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ÁREAS
CLASSIFICADAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Silvangela Lilian da Silva
Lima Barcelos, D. Sc.

**São Luís, MA
2017**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Andrade, Vittoria Emanouella Martins Soares de.

Avaliação da Adequação de Instalações Elétricas em
Áreas Classificadas / Vittoria Emanouella Martins Soares
de Andrade. - 2017.

90 f.

Orientador(a): Silvangela Lilian da Silva Lima
Barcelos.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

1. Áreas Classificadas. 2. Atmosferas Explosivas. 3.
Instalações Elétricas. I. Barcelos, Silvangela Lilian da
Silva Lima. II. Título.

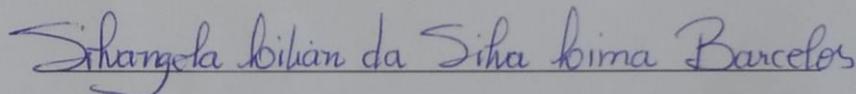
VITTORIA EMANOUELLA M. SOARES DE ANDRADE

AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

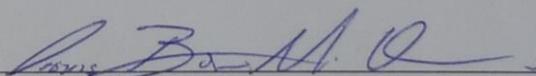
Aprovada em: 21 / 07 / 2017

BANCA EXAMINADORA



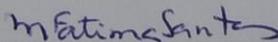
Prof.^a Dra. Silvangela Lilian da Silva Lima Barcelos

(Orientadora, DEE-UFMA)



Prof. Dr. Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira

(Examinador, DEE-UFMA)



Prof.^a Dra. Maria de Fátima Santos

(Examinadora, DEE-UFMA)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter sido minha força durante todo o caminho e ter me permitido alcançar mais esta etapa em minha vida.

Aos meus pais que sempre se empenharam para que eu pudesse ter as melhores oportunidades em minha vida de estudante. E minha irmã, pelo apoio e pela confiança.

A José Filho, pelo amor e compreensão incondicionais. Por ter me apoiado em todos os momentos e me incentivar a alcançar meus sonhos.

À minha orientadora Silvangela Lilian da Silva Lima Barcelos, pela orientação, confiança e por suas correções e incentivo.

Aos meus professores, amigos de curso e todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta etapa da minha formação.

RESUMO

Em áreas com elevadas quantidades de combustíveis ou com alta concentração de vapores e/ou gases inflamáveis, medidas de proteção específicas devem ser tomadas. Ações devem ser executadas de modo a mitigar o risco de explosões, garantir a integridade dos equipamentos, das instalações elétricas e a segurança das pessoas que circulem por tais ambientes.

As normas vigentes usam a nomenclatura de “área classificada” para regiões onde a atmosfera pode ser explosiva em função da elevada presença de elementos de risco em decorrência de equipamentos elétricos. Os ambientes enquadrados nessa categoria de classificação de riscos requerem precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos. Em outras palavras, instalações onde materiais inflamáveis são manuseados ou armazenados, devem ser projetadas, operadas e mantidas de forma a minimizar os impactos de eventuais liberações indevidas desses materiais perigosos.

Neste trabalho serão descritos os principais conceitos associados à análise de adequação de áreas classificadas. Uma extensa revisão das normas associadas será apresentada, buscando condensar de forma sucinta os parâmetros e recomendações estabelecidos pelos agentes normativos. Além da apresentação das normas, será apresentado o embasamento teórico que, de forma geral, fundamenta a correta aplicação das normas. Por fim, é apresentado um estudo de caso de classificação de área aplicado ao projeto de uma instalação de fornecimento de energia elétrica, elaborado especificamente para demonstrar as ideias desenvolvidas neste trabalho. Trata-se de um condomínio residencial que possui um sistema de suprimento de energia local, composto por um conjunto gerador com um tanque de armazenamento de combustível. Foram desenvolvidos os diversos layouts do projeto, tais como o desenho arquitetônico, o projeto elétrico e a planta de classificação da área.

Palavras-chave: Áreas classificadas. Atmosferas explosivas. Normas e mitigação de riscos de explosão, projeto de instalações elétricas.

ABSTRACT

In areas with high amounts of fuels or with a high concentration of flammable vapors or gases (or both), specific safety measures should be taken. Actions should be taken to mitigate the explosion hazard, to ensure the integrity of equipment, facilities and the safety of people moving in such environments.

Current standards use the "classified area" nomenclature for regions where the atmosphere may be explosive due to the high presence of hazard elements such as electrical equipment. Classified areas require special precautions for the construction, installation and use of equipment. In other words, facilities where flammable materials are handled or stored must be designed, operated and maintained in a manner that minimizes the impacts of any undue releases of these materials.

In this work, the main concepts associated to the analysis of the adequacy of classified areas will be described. An extensive review of the associated standards will be presented, seeking to briefly summarize the parameters and recommendations established by normative agents. In addition to the presentation of the standards, the theoretical basis will be presented, which is necessary for the correct deployment of the technical recommendations. Finally, a study case of area classification is presented. The proposed case is applied to the design of an electric power supply facility, specifically designed to demonstrate the ideas developed in this work. It is a residential condominium that has a local energy supply system, consisting of a generator set with a fuel storage tank. The various layouts of the project were developed, such as the architectural built area design, the electrical project and the plant of the classification of the area.

Keywords: Classified Locations. Explosive atmospheres. Standards and mitigation of explosions, design of electrical installations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Energia de Ignição em função da Concentração.....	19
Figura 2.2 - Circuito sem Limitação de Energia.	20
Figura 2.3 - Circuito com Limite de Corrente.	21
Figura 2.4 - Circuito com Limitação de Energia.	21
Figura 2.5 - Circuito com Limitação de Energia controlado.	24
Figura 2.6 - Circuito à Prova de falhas.	25
Figura 2.7 - Circuito com Aterramento Íntegro.....	26
Figura 3.1 - Limite de Inflamabilidade.....	35
Figura 3.2 - Equipamentos do tipo Ex d: Motor Ex d (a), Caixa de passagem Ex d (b).	48
Figura 4.1 - Condomínio Residencial com Grupo Gerador.....	52
Figura 4.2 - Grupo Gerador.	53
Figura 4.3 - Diagrama Esquemático Geral Multifilar.....	54
Figura 4.4 - Diagrama Unifilar do Condomínio.	55
Figura 4.5 - Fluxograma para Classificação da Área.	57
Figura 4.6 - Classificação da Área.....	68
Figura 4.7 - Unidade Seladora.	74
Figura 4.8 - Condulete à prova de explosão.	74
Figura 4.9 - Proposta de Desclassificação.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação da Fonte de Risco.....	32
Tabela 3.2 - Definição de zonas e seu critério de classificação de acordo com a ABNT.	37
Tabela 3.3 - Classes de temperatura da superfície de acordo com a ABNT.	38
Tabela 3.4 - Representação dos Tipos de Proteção.	49
Tabela 4.1 - Classificação de líquidos e combustíveis inflamáveis.	58
Tabela 4.2 - Principais propriedades do Óleo Diesel.	60
Tabela 4.3 - Relação de Proteção do Equipamento (EPL).	71
Tabela 4.4 - Relação entre os Tipos de Proteção e EPL.....	71
Tabela 4.5 - Relação entre a subdivisão vapor e grupo do equipamento.	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

LII - Limite Inferior de Inflamabilidade

LIE - Limite Inferior de Explosividade

MIE - Energia Mínima para Ignição (Minimum Ignition Energy)

LSI - Limite Superior de Inflamabilidade

NBR - Norma Brasileira de Regulamentação

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission)

QTA - Quadro de Transferência Automático

EPL - Nível de Proteção de Equipamento

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

MESG - Máximo Interstício Experimental Seguro

CM - Centro de Medição

QTA - Quadro de Transferência Automática

QG - Quadro Geral

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Atmosfera Explosiva e Área Classificada.....	13
1.2 Motivação	14
1.3 Objetivo.....	16
1.4 Estrutura Do Trabalho.....	16
2. REPRESENTAÇÃO DO FENÔMENO TÉRMICO NA ANÁLISE DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS – CONCEITOS GERAIS	18
2.1 Energia de Ignição	18
2.2 Limitação de Energia.....	20
2.2.1 Limite de Corrente.....	21
2.2.2 Limite de Tensão	21
2.2.3 Limitação da Energia Armazenada.....	22
2.3 Circuitos à Prova de Falha.....	25
2.4 Aterramento	25
2.5 Fenômeno do Aquecimento dos Condutores.....	27
2.6 CONCLUSÕES PARCIAS	28
3. ÁREAS CLASSIFICADAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS NOS ESTUDOS DE ADEQUAÇÃO DOS COMPONENTES ELÉTRICOS - TERMOS E NORMAS TÉCNICAS	
30	
3.1 Definições Importantes	30
3.1.1 Atmosfera Explosiva	31
3.1.2 Área Classificada.....	31
3.1.3 Fontes de Risco.....	32

3.1.4	Vaporização	32
3.1.5	Densidade Relativa	33
3.1.6	Ponto de Fulgor	33
3.1.7	Ponto de Combustão	34
3.1.8	Limites de Inflamabilidade	34
3.1.9	Temperatura de Autoignição	35
3.1.10	Ventilação	36
3.1.11	Zonas	36
3.1.12	Classe de Temperatura.....	37
3.1.13	Fonte de Ignição	38
3.2	Segurança e Classificação de Áreas.....	39
3.3	Procedimento para a classificação de Área.....	40
3.3.1	Identificação de Fontes de Risco	40
3.3.2	Determinação do Tipo de Zona	42
3.3.3	Extensão de Zonas	42
3.3.4	Taxas de Liberação de Gás ou Vapor.....	43
3.3.5	Limite Inferior de Explosividade (LIE).....	43
3.3.6	Ventilação	44
3.3.7	Densidade Relativa do Gás ou Vapor Quando Liberado.....	44
3.3.8	Outros Parâmetros a Serem Considerados.....	45
3.4	Tipos de Proteção.....	46
3.4.1	Segurança Intrínseca.....	46
3.4.2	Encapsulados	46
3.4.3	Pressurizados	47
3.4.4	À Prova de Explosão	47
3.4.5	Segurança Aumentada	48
3.4.6	Imersão em Óleo.....	48

3.4.7	Imersão em Areia.....	49
3.4.8	Não Acendível	49
3.4.9	Proteção por Invólucro	49
3.5	CONCLUSÕES PARCIAIS	50
4.	ESTUDO DE CASO	51
4.1	Descrição do Ambiente	51
4.1.1	Organização da Rede Elétrica da Planta Residencial	53
4.2	Classificação do Ambiente	56
4.2.1	Identificação das Fontes de Risco	57
4.2.2	Determinação dos Tipos de Zonas.....	59
4.2.3	Determinação da Taxa de liberação de Vapor.....	60
4.2.4	Limite Inferior de Inflamabilidade	61
4.2.5	Determinação do Grau de Ventilação.....	62
4.2.6	Classificação	67
4.3	Especificação das Instalações	69
4.3.1	Grau de Proteção dos Equipamentos	69
4.3.2	Nível de Proteção dos Equipamentos	69
4.3.3	Tipo de Proteção	71
4.3.4	Grupo de Equipamentos	72
4.3.5	Sistemas de fiação	72
4.3.6	Sistema de Eletrodutos	74
4.4	Considerações Gerais	75
5.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	76
5.1	Propostas de Trabalhos Futuros	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	APÊNDICE A – PLANTAS DO ESTUDO DE CASO	81

1. INTRODUÇÃO

1.1 Atmosfera Explosiva e Área Classificada

Áreas classificadas estão frequentemente presentes na indústria, sendo um campo de interesse prático e científico. Um dos aspectos que devem ser observados é a segurança das instalações e equipamentos elétricos, que devem ser apropriadamente especificados de acordo com o ambiente e a natureza das substâncias que podem gerar uma atmosfera explosiva (NBR-8370).

As instalações elétricas em áreas classificadas necessitam de proteções adicionais em relação às instalações tradicionais devido ao maior risco de ocorrência de explosões e consequentes incêndios de grandes proporções. A presença de equipamentos elétricos em áreas com atmosferas explosivas constitui-se como uma das principais fontes de ignição e de produção de chamas e explosões. Isso ocorre porque esses equipamentos podem gerar centelhamentos, no chaveamento de contatos, ou devido às elevadas temperaturas de operação, ou ainda em condições de falha (Neto & Soares, 2010).

Uma atmosfera é explosiva, por definição, quando a proporção de gás, vapor ou pó no ar é tal que uma faísca proveniente de um circuito elétrico ou do aquecimento de um aparelho provoca a explosão. Para que ocorra uma explosão, devemos ter a presença de três condições: comburente, combustível e fonte de ignição (Miranda, 2002).

Para que uma explosão possa ocorrer, uma atmosfera explosiva e uma fonte de ignição precisam coexistir. Portanto, as medidas de proteção aplicadas em projetos de instalações elétricas ou de instrumentação em atmosferas explosivas objetivam reduzir a um nível aceitável a possibilidade de que uma instalação elétrica possa se tornar uma fonte de ignição em presença de atmosfera explosiva.

Avaliar e controlar os riscos em áreas classificadas não é somente um requisito legal como também um fator de segurança decisivo para o funcionamento ótimo de uma instalação elétrica em áreas classificadas (ABNT, 2016). A manutenção dos equipamentos e instalações deve ser um processo contínuo nos procedimentos e controles de uma área classificada.

Para a seleção de equipamentos e o projeto de instalações elétricas em áreas de risco, as delimitações do lugar são classificadas, no Brasil, de acordo com o conceito de zonas. Essa classificação define o tipo de proteção mais adequada para um dispositivo, levando em consideração a frequência de ocorrência e duração de uma atmosfera explosiva.

Como mencionado anteriormente, instalações que armazenem ou em que haja manuseio de materiais inflamáveis, de acordo com a norma NBR IEC 60079-10 (ABNT, 2009), devem ser projetadas, operadas e mantidas para que na eventualidade de qualquer liberação de material inflamável a extensão da área classificada seja a menor possível. É importante examinar equipamentos e processos que possam vir a liberar material inflamável e considerar modificações no projeto que minimizem uma possível taxa de liberação do material.

Segundo a NBR 60079-14 (ABNT, 2007), quando equipamentos elétricos são instalados em ambientes que contenham concentrações perigosas de gases inflamáveis, vapores, poeiras, névoas ou fibras inflamáveis que possam estar presentes na atmosfera, medidas de proteção devem ser aplicadas de maneira a diminuir o risco de explosão devido a ignição por arcos ou faíscas em condições normais ou sob condições de falhas especificadas. Um projeto bem dimensionado pode possibilitar a instalação de equipamentos elétricos em áreas de menor risco ou áreas não classificadas.

1.2 Motivação

A segurança em áreas classificadas é um tema de grande relevância, pois muitas vezes é um assunto pouco conhecido para a maioria, inclusive os profissionais da área de energia elétrica. As instalações e equipamentos que operam em ambientes de risco devem obedecer rigorosamente às normas específicas. Essas instalações, além de serem concebidas com projetos robustos desde seu planejamento, devem ser constantemente monitoradas e inspecionadas.

Ao contrário do que pode ser inferido pelo senso comum, as áreas classificadas não estão restritas à indústria de combustíveis e produtos inflamáveis. Com as constantes mudanças no mercado petroquímico e de equipamentos, que se desenvolve no sentido de abrir o setor para uma quantidade cada vez maior de participantes, muitos novos agentes manipulam produtos derivados do petróleo, e não somente as tradicionais indústrias petroquímicas. Indústrias

alimentícias e de processamento de resíduos, com a crescente demanda para exportação de *commodities* no mercado nacional e internacional, necessitam cada vez mais serviços associados à avaliação e adequação das instalações elétricas em ambientes que possuam atmosfera explosiva. Neste sentido, esse trabalho vem preencher uma lacuna ao apresentar e revisar os conceitos associados às instalações elétricas em atmosferas explosivas, por definições ambientes classificados como de alto risco.

A última atualização da NR20, que regulamenta segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis, trouxe mudanças significativas ao incluir em seu escopo o conceito de análise de riscos, que se relaciona diretamente em áreas classificadas. Essa análise pode ter um conceito mais probabilístico porque, ao invés de analisar os danos, o enfoque será prevenir e mitigar riscos e que, por sua vez, vão contribuir para uma correta avaliação da classificação de áreas.

Apesar da importância do tema há uma escassez tanto na literatura como em campo de profissionais especializados no assunto. O texto da NR10 por sua vez, que regulamenta segurança em instalações e serviços em eletricidade, traz a necessidade de treinamento dos profissionais de acordo com o risco envolvido em áreas classificadas, entretanto com a necessidade de profissionais especializados na área, a expectativa é que será necessária uma certificação dos profissionais, o que demonstra o crescimento desse mercado.

As primeiras normas brasileiras específicas para áreas classificadas surgiram apenas na década de 80, e nos últimos 30 anos o avanço no assunto foi devido ao crescimento da indústria petroquímica na economia do país. No Brasil há poucos livros publicados sobre atmosferas explosivas e áreas classificadas. Uma referência clássica na área é o trabalho escrito por Dácio de Miranda Jordão.

Devido à dificuldade de encontrar material que se aprofunde sobre instalações elétricas em áreas classificadas, este trabalho vem preencher uma lacuna no sentido de prover discussões sobre o tema da análise da adequação de instalações elétricas em ambientes com risco de explosão.

1.3 Objetivo

Este trabalho apresenta os seguintes objetivos (geral e específicos):

- Objetivo Geral:

Descrever os procedimentos e normas que norteiam a classificação de áreas em que existe a possibilidade de explosão através de um estudo de caso.

- Objetivos Específicos:

1. Apresentação de conceitos associados à análise de instalações com presença de risco de explosão, do ponto de vista do fenômeno de liberação de calor e de energia, por meio de uma análise com foco na parte elétrica;
2. Revisão bibliográfica sobre a estrutura normativa referente à classificação de áreas com risco de explosões;
3. Destacar especificidades de instalações elétricas em áreas classificadas mostrando os meios de mitigação de risco e elencando os tipos de proteção de equipamentos;
4. Demonstrar, por meio de um estudo de caso, como projetar instalações e como manter os níveis de segurança de ambientes de risco a partir do que foi especificado em norma e,
5. Apresentar os resultados da classificação de área e suas implicações.

1.4 Estrutura Do Trabalho

O texto deste trabalho está dividido em 5 capítulos, incluindo a introdução, onde são descritos os conceitos envolvidos na classificação de áreas, dando uma visão macro dos conteúdos que serão abordados e das motivações para a realização deste trabalho.

No Capítulo 2 é apresentado o embasamento teórico relacionado às recomendações normativas. Os conceitos de energia de ignição, circuitos de proteção, entre outros, são revisitados. A modelagem da ignição é explorada em uma abordagem que relaciona o fenômeno físico-químico com os modelos de circuitos elétricos das instalações auxiliares, com foco na descrição do esquema lógico de operação para mitigar o risco de propagação de explosões.

A estrutura normativa é detalhada no Capítulo 3. Tendo como foco as diretrizes para a classificação de áreas, a definição das zonas e os parâmetros aceitáveis nas diversas situações de risco e uma área classificada. As principais recomendações de projeto e manutenção de áreas classificadas serão elencadas neste tópico. Há também uma descrição geral dos tipos de equipamentos e proteções que são utilizados em áreas classificadas.

No Capítulo 4 apresenta-se os resultados da aplicação dos conceitos e normas apresentados nos capítulos anteriores em um estudo de caso, envolvendo um ambiente com a presença de uma região de risco de explosão devido ao armazenamento e manipulação de elementos combustíveis. Neste capítulo é analisada a adequação de uma área de Tancagem com armazenamento de Óleo Diesel de um tanque de reserva de suprimento de um gerador elétrico utilizado como energia de reserva em um condomínio residencial.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões gerais e um resumo dos conceitos abordados, tanto teóricos como práticos que foram apresentados. Uma revisão geral do trabalho é descrita, levando em consideração todo o estudo desenvolvido. Ao final do trabalho estão elencadas algumas propostas de trabalhos futuros.

2. REPRESENTAÇÃO DO FENÔMENO TÉRMICO NA ANÁLISE DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS – CONCEITOS GERAIS

Tradicionalmente, as análises e projetos de instalações elétricas consideram predominantemente grandezas elétricas, tais como corrente e tensão. Ao lidar com ambientes com risco de explosão ou com elevado risco de apresentar temperaturas elevadas, é natural que venha à tona a preocupação em analisar o fenômeno térmico e seu efeito nas instalações. Neste capítulo, pretende-se fazer uma conexão entre os fenômenos físico-químico de liberação de calor e aquecimento de materiais com os circuitos elétricos. O objetivo é contextualizar as normas e termos técnicos que serão apresentados no próximo capítulo e prover o embasamento científico para o estudo de caso que será apresentado ao final deste trabalho.

Neste capítulo os conceitos de energia de ignição e os métodos de proteção e limitação da propagação da energia serão abordados. Sendo explorados os tipos de proteção de equipamento, com foco na descrição teórica, desenvolvendo o embasamento por trás de alguns dos circuitos utilizados na proteção em caso de explosão.

2.1 Energia de Ignição

O fenômeno de ignição pode ocorrer tendo como fontes equipamentos elétricos na presença de uma atmosfera explosiva (com uma mistura em proporções específicas), podendo levar a deflagração de uma explosão. Devido a essa razão é necessário criar meios não somente para conter, mas também para inviabilizar a existência de uma ignição. Neste capítulo serão abordadas, com enfoque geral, as fontes de ignição de origem elétrica e eletrônica.

Como descrito em (Oliveira, 1999), toda e qualquer mistura possui uma energia mínima de ignição, conhecida como MIE (*Minimum Ignition Energy*), ou seja: é a quantidade mínima de energia que precisa existir para que se provoque uma explosão, abaixo desse valor não há como existir explosão uma vez que a concentração (definida como quantidade de combustível em relação à quantidade de ar) da mistura não é ideal.

O conceito de MIE é essencial, pois descreve o ponto onde a explosão desempenha a maior pressão, conseqüentemente é onde a explosão apresenta maior intensidade. Fora do “ponto de energia mínima” seria necessária uma quantidade maior de energia para a deflagração da ignição. É importante ressaltar que a energia de ignição é função da concentração da mistura, como ilustrado na Figura 2.1.

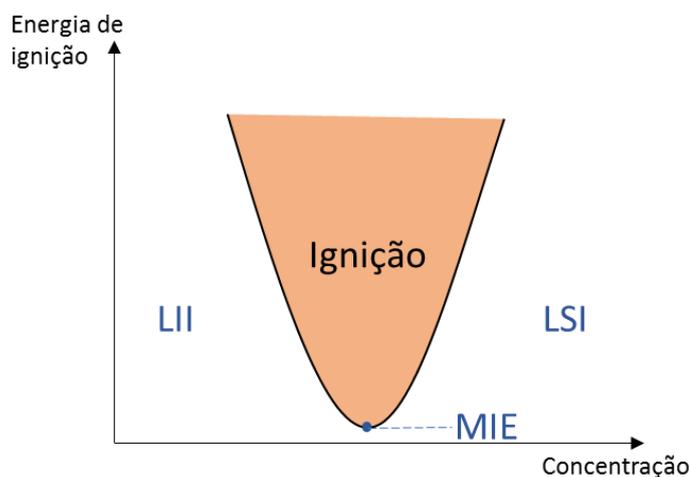


Figura 2.1 - Energia de Ignição em função da Concentração.

Fonte: Do autor.

Misturas com concentração inferior ao limite inferior de inflamabilidade (LII) são consideradas misturas pobres e, portanto, não há risco de ocorrência de explosão, uma vez que há muito oxigênio para uma pequena quantidade de combustível. De maneira análoga, misturas que apresentem concentração acima do limite superior de inflamabilidade (LSI) são consideradas misturas ricas, e, similarmente, também não há risco de ocorrência de explosões em função do excesso de combustível.

O conceito de Energia de Ignição é utilizado em equipamentos com segurança intrínseca (o termo “segurança intrínseca” será detalhado na próxima seção), pois devido ao fato de inexistir energia suficiente não haverá ignição, o que torna essa classe de equipamentos segura mesmo em situações de funcionamento anormais e também adequada para sua utilização em Zona 0 (a classificação de zonas será apresentada no próximo capítulo). Sintetizando, é possível concluir que a energia total que o circuito intrinsecamente pode conter deve ser menor que a mínima energia de ignição - MIE.

2.2 Limitação de Energia

A prevenção da ignição é o tipo de proteção adotado nos equipamentos de segurança intrínseca, que é obtida por meio da limitação de energia elétrica. Portanto, o fundamento para esses equipamentos funcionarem corretamente é que energia elétrica contida neles não seja capaz de provocar uma explosão. Assim, tais equipamentos devem apresentar baixa capacidade de armazenar energia.

Em 1913 ocorreu um acidente na mina de *South Wales* na Inglaterra que gerou uma explosão e provocou a perda da vida de diversos trabalhadores. Esta mina era eletricamente suprida por circuitos de baixa tensão e, dentro dos padrões estabelecidos, era considerada segura (Svacina & Larson, 2011). Pesquisas realizadas após esse acidente provaram que um dos fatores mais importante para a avaliação da segurança de uma instalação ou planta é a energia armazenada nos equipamentos do ambiente (Oliveira, 1999).

A execução de uma instalação com a proteção de Segurança Intrínseca requer uma interface entre o elemento em campo e o instrumento de controle por intermédio de um limitador de energia. Para ilustrar melhor esta ideia será analisada a Figura 2.2, onde há um contato mecânico proveniente de uma chave liga-desliga. Essa chave deve acionar um relé auxiliar, montado no painel de controle fora da área classificada. A ação de abrir e fechar essa chave pode causar centelhas, portanto, há um risco de inflamar a atmosfera.

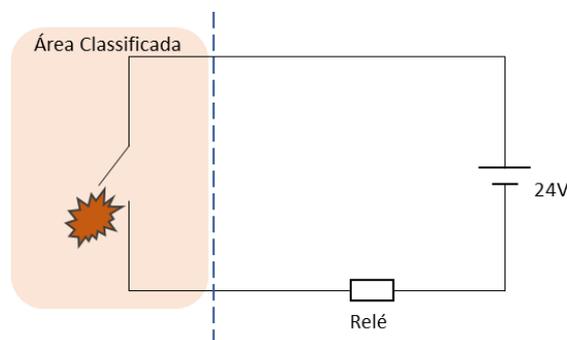


Figura 2.2 - Circuito sem Limitação de Energia.

Fonte: Adaptado de Fundamentos e Princípios da Segurança Intrínseca (Oliveira, 1999).

2.2.1 Limite de Corrente

A fim de limitar corrente parece lógico que se utilize um resistor que tem por função fazer essa limitação. Entretanto a utilização de apenas essa medida não elimina a centelha, mas já diminui a energia, na Figura 2.3 é possível perceber a limitação da corrente.

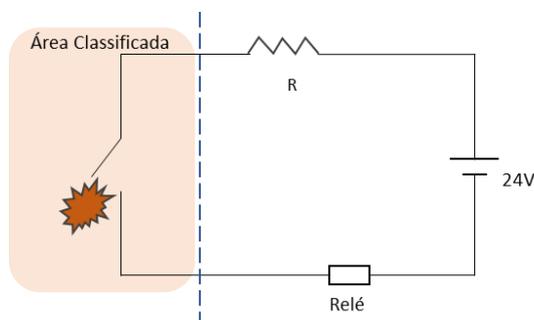


Figura 2.3 - Circuito com Limite de Corrente.

Fonte: Adaptado de Fundamentos e Princípios da Segurança Intrínseca (Oliveira, 1999).

2.2.2 Limite de Tensão

Após limitar a corrente é necessário limitar a potência. Para alcançar esse objetivo, além do resistor para limitar a corrente, é acrescentado um diodo zener para limitar a tensão de contato de campo, conforme mostrado na Figura 2.4. Desta maneira, é possível eliminar a possibilidade de ignição pela utilização de equipamentos elétricos em áreas classificadas, logicamente escolhendo os valores do resistor e do diodo zener que mantenham a corrente e a tensão no contato de campo, com os devidos fatores de segurança (Oliveira, 1999).

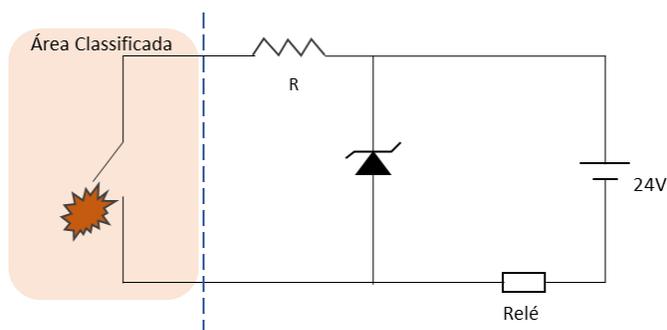


Figura 2.4 - Circuito com Limitação de Energia.

Fonte: Adaptado de Fundamentos e Princípios da Segurança Intrínseca (Oliveira, 1999).

2.2.3 Limitação da Energia Armazenada

Anteriormente foi analisado o caso da limitação de energia no circuito levando em consideração apenas a presença de um contato, entretanto pode haver também a presença de circuitos eletrônicos e nesses casos não poderá ser usada apenas a estratégia anterior uma vez que ela não prevê a necessidade de armazenamento de energia. Este armazenamento acontece não somente em circuitos eletrônicos, mas também nos cabos de conexão, que de acordo com seu comprimento passam a ter capacitância e indutância distribuídas apresentando valores significantes.

2.2.3.1 Energia armazenada em um Capacitor

Em um capacitor a energia não é instantaneamente dissipada, mas sim armazenada na forma de campo elétrico. Dessa forma, a energia armazenada em um capacitor, antes que este possa ser descarregado por algum elemento externo, é numericamente igual à energia fornecida pela fonte.

Para calcular o montante de energia armazenada em um capacitor, pode-se empregar o conceito de trabalho. Neste caso, a energia armazenada é igual ao trabalho necessário para carregar o capacitor.

Considere-se o caso hipotético do capacitor de placas paralelas ideal. A diferença de potencial entre as placas é $V = \frac{q}{C}$, onde q é a carga que está sobre as placas, portanto o trabalho necessário é:

$$dW = Vdq = \frac{q}{C} dq \quad (2.1)$$

Para calcular a energia armazenada U , basta integrar a equação (2.1) acima de 0 a Q :

$$U = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq \quad (2.2)$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (2.3)$$

Sabendo que $Q = CV$:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \quad (2.4)$$

A energia pode ser recuperada quando o capacitor é descarregado, e por isso é dito que ela fica armazenada no capacitor ou, mais precisamente, no campo elétrico entre as placas. É o que ocorre em circuitos de corrente alternada. Onde elementos capacitivos são submetidos a ciclos de carga e descarga (Instituto de Física de São Carlos, 2010). Esta energia armazenada nos capacitores é liberada quando, em um circuito capacitivo, os contatos se fecham, sobrepondo-se na alimentação do campo, gerando uma faísca que pode causar a ignição.

2.2.3.2 Energia armazenada em um Indutor

O indutor, da mesma forma que o capacitor, também é capaz de armazenar energia (e de dissipá-la para o exterior). Esta energia fica armazenada no campo magnético criado em torno do indutor. Sendo assim, a energia armazenada em um indutor é igual à energia fornecida a ele pela fonte.

Considerando-se um indutor ideal, a diferença de potencial é $V = L \frac{di}{dt}$, a potência $P = Vi$, portanto a energia armazenada pode ser calculada por:

$$P = Li \frac{di}{dt} = \frac{dU}{dt} \quad (2.5)$$

$$dU = P dt = Li \frac{di}{dt} dt \quad (2.6)$$

$$dU = Li di \quad (2.7)$$

$$U = L \int_0^I i \, di \quad (2.8)$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2.9)$$

A energia armazenada nos indutores é liberada quando se abre o contato, pois a energia é proporcional a variação da corrente.

De acordo com o que foi verificado, pode se dizer que o armazenamento de energia é muito relevante, em especial quando são avaliados seus efeitos em conjunto com as capacitâncias e indutâncias e por essa razão deve ser limitada. A Figura 2.5 ilustra um circuito de limitação das correntes de um indutor.

De acordo com a norma NBR 60079-11 (ABNT, 2013) é sugerido uma limitação dos elementos que realizam o armazenamento de energia nos circuitos e cabos. Essa limitação é obtida a partir das curvas de capacitância em função da tensão e indutância em função da corrente do circuito (medidas em condições de defeito), de forma que devem ser respeitados esses valores. O circuito pode conter capacitores e indutores, mas a energia total envolvida deve permanecer abaixo do MIE (Oliveira, 1999).

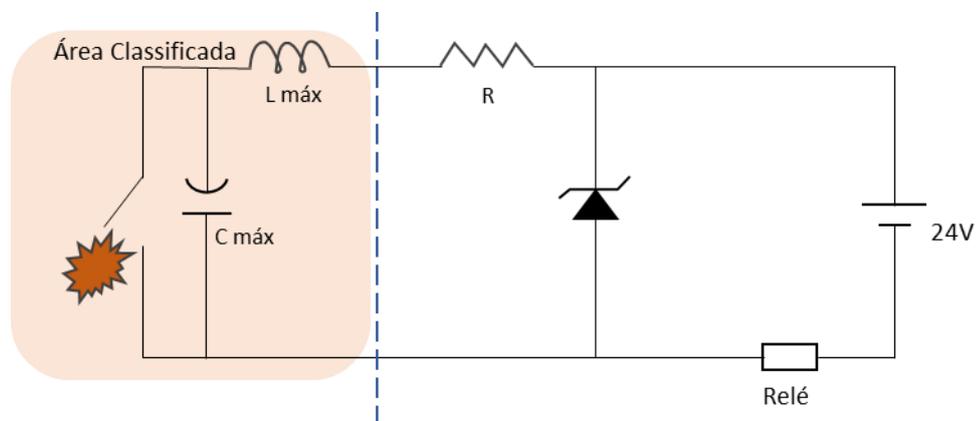


Figura 2.5 - Circuito com Limitação de Energia controlado.

Fonte: Adaptado de Fundamentos e Princípios da Segurança Intrínseca (Oliveira, 1999).

2.3 Circuitos à Prova de Falha

Como os circuitos de segurança intrínseca são projetados especialmente para operar em áreas de risco, a norma NBR 60079-11 (ABNT, 2013) determina o estudo das falhas que podem ser causadas inclusive por erros humanos e como evitá-las.

No circuito da Figura 2.6, o fusível é inserido no circuito com a função de abrir caso a corrente seja excessiva. Um diodo com defeito pode queimar antes que o fusível abra. Para assegurar que o diodo queimado não irá prejudicar a segurança do circuito, pode-se colocar outro diodo zener em paralelo. Caso um diodo apresente problema, o outro irá atuar para limitar a tensão. Essa proteção é chamada de barreira zener, como ilustrado na Figura 2.6.

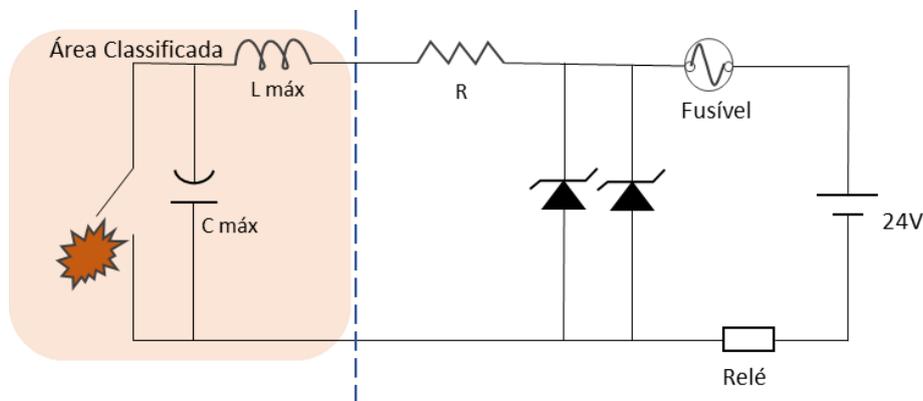


Figura 2.6 - Circuito à Prova de falhas.

Fonte: Adaptado de Fundamentos e Princípios da Segurança Intrínseca (Oliveira, 1999).

2.4 Aterramento

Toda instalação elétrica para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra de riscos de acidentes fatais deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projeto (Filho J. M., 2007).

Em áreas com risco de explosão, o aterramento desempenha ainda a função de mitigar o risco de surgimento de condições perigosas que possam provocar centelhamentos. Desta

forma, deve-se empregar um sistema de aterramento robusto para eliminar a possibilidade de ignição.

Em ambientes de risco, os circuitos devem estar aptos a desviar as sobretensões perigosas capazes de provocar uma centelha elétrica na área classificada. Um sistema de aterramento com alta integridade deve ser utilizado para conexão de circuitos limitadores de energia, formando um mecanismo capaz de desviar a corrente gerada por sobretensões em relação ao potencial da terra (Oliveira, 1999).

De acordo com a NBR5410, o sistema de aterramento deve ser construído levando em consideração todos os componentes do aterramento; conexões, eletrodos de aterramento e solo, e que estes estejam de acordo com as determinações para que o aterramento possa ser considerado efetivo. A equipotencialização é essencial em um sistema de aterramento, uma vez que todos os pontos do sistema de aterramento precisam estar interligados e sobre o mesmo potencial. É importante salientar que atualmente não existe, por exemplo, um valor de resistência do solo adotado na norma, a recomendação é apenas que se obtenha um baixo valor de resistência associado a análise de eficiência do sistema de aterramento como um todo.

No item anterior foi utilizado o recurso da barreira zener para evitar falhas, mas sem um aterramento. A ausência da equipotencialização no circuito da Figura 2.6, pode vir a gerar sobretensão proveniente de algum defeito ou falha. Desta forma, colocando em risco o circuito que era considerado seguro. Portanto, para que o circuito volte a ser seguro é essencial que exista um sistema de aterramento íntegro e robusto. Um exemplo do emprego do aterramento pode ser visto na Figura 2.7.

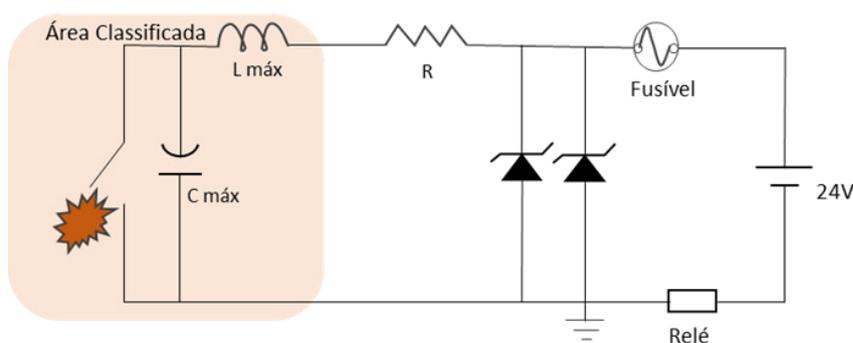


Figura 2.7 - Circuito com Aterramento Íntegro.

Fonte: Adaptado de Fundamentos e Princípios da Segurança Intrínseca (Oliveira, 1999).

Ainda em relação ao sistema de aterramento, de acordo com a NBR5410 (item 5.2.2.3.10), quando for necessário limitar os riscos de incêndio suscitados pela circulação de correntes de falta, devem ser empregados o dispositivo proteção contra corrente diferencial-residual (dispositivo DR) ou ainda o dispositivo supervisor de isolamento (DSI).

2.5 Fenômeno do Aquecimento dos Condutores

A temperatura dos equipamentos é um dos fatores que são utilizados para realizar a classificação de áreas, entretanto pouco se fala sobre o fenômeno de aquecimento dos condutores e, como será visto neste trabalho, uma atmosfera explosiva pode ser inflamada na presença de uma temperatura mais elevada.

A NBR 5410 traz no quadro da proteção contra curtos-circuitos a “integral de *Joule*”, que é definida como a integral do quadrado da corrente durante um dado intervalo de tempo, como podemos ver a seguir:

$$\int_0^t i^2 dt \quad (2.10)$$

Um cabo é aquecido mediante dois fatores, que são: a corrente elétrica e o tempo, a integral acima modela a energia de aquecimento. É possível perceber que quanto maior o tempo que uma sobrecorrente está passando pelo condutor mais energia de aquecimento é produzida. Para aquecer um cabo desde a sua temperatura de trabalho até a temperatura de curto-circuito, é necessária uma quantidade de energia que pode ser calculada pela equação:

$$\int_0^t i^2 dt = K^2 S^2 \quad (2.11)$$

Onde:

S - seção do condutor;

K - fator dependente do material da isolação;

Em áreas classificadas essa problemática de aquecimento dos cabos deve ser levada em consideração no dimensionamento do projeto, uma vez que a segurança em ambientes que estejam sujeitos a explosão faz parte do escopo da NBR 5410. Devido ao fato de não haver menções sobre esse fenômeno de aquecimento nas literaturas específicas sobre áreas classificadas faz-se importante mencionar o conceito da Integral de *Joule* que explica este fenômeno.

De acordo com norma regulamentadora NBR 5410, os equipamentos de aquecimento que comportam elementos incandescentes abertos ou expostos não devem ser instalados em locais que apresentem riscos de explosão. O uso de tais equipamentos só é admitido se forem tomadas todas as precauções para evitar que substâncias inflamáveis, inclusive vapores e gases, venham a entrar em contato com os elementos incandescentes. Portanto, deve-se adotar medidas de proteção para os cabos condutores não sejam submetidos, em qualquer hipótese, às suas temperaturas de incandescência, com o sobre dimensionamento da bitola dos condutores ou adoção de invólucros.

2.6 CONCLUSÕES PARCIAS

A energia mínima de ignição (MIE) é a quantidade mínima de energia que precisa existir para que se provoque uma explosão, abaixo desse valor não há risco de ocorrência de explosões.

Em circuitos, os principais componentes que armazenam energia são os elementos com característica indutiva e capacitiva. Em ambientes de risco, é essencial que haja um monitoramento de todos os elementos armazenadores. Por critérios de segurança, devem ser adotadas medidas de contenção e mitigação dos riscos, tal como a implantação de circuitos de proteção e limitação da taxa de liberação da energia.

A implantação de circuitos a prova de falha e de sistemas de aterramento robustos estão entre o conjunto de medidas adotadas para garantir a integridade das pessoas e dos equipamentos em áreas classificadas como de alto risco de explosão.

Além dos elementos capacitivos e indutivos, cabos de energia podem ser fontes de calor. O fenômeno do aquecimento de cabos condutores, por meio do conceito de integral de

Joule, é descrito na NBR 5410. O projetista, ao dimensionar os circuitos e proteções, deve estar atento a todos os riscos envolvidos no ambiente.

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos associados a análise de instalações com presença de risco de explosão. Trata-se de uma abordagem diferenciada, uma vez que esses conceitos são tratados do ponto de vista do fenômeno de liberação de calor e de energia. Desta forma, o texto aqui apresentado pode ser utilizado de maneira informativa por profissionais que lidam com ambientes envolvendo riscos de ignição e explosão.

No próximo capítulo será explorado o arcabouço normativo que fundamenta o tratamento diferenciado das áreas classificadas.

3. ÁREAS CLASSIFICADAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS NOS ESTUDOS DE ADEQUAÇÃO DOS COMPONENTES ELÉTRICOS - TERMOS E NORMAS TÉCNICAS

O desenvolvimento de uma avaliação de classificação de áreas de uma unidade industrial ou residencial inicia-se com a análise da probabilidade da existência ou aparição de atmosferas explosivas nos diferentes locais dessa unidade.

Os equipamentos de processos que liberam para o ambiente produtos geradores de atmosferas explosivas representam fontes potenciais de risco. Esses produtos podem ser gases inflamáveis, líquidos inflamáveis ou ainda poeiras/fibras combustíveis.

Neste capítulo serão abordados conceitos importantes para realizar as etapas da classificação de área de uma planta baseados nas etapas que a norma NBR 60079-10 (ABNT, 2009) define como necessárias para a realização de um projeto de classificação de área.

3.1 Definições Importantes

Para elaborar uma classificação de área é necessário conhecer o comportamento de uma substância inflamável. Isto requer o conhecimento de algumas propriedades fundamentais das substâncias inflamáveis. Isto posto, serão apresentadas as definições de área classificada e atmosfera explosiva, uma vez que o principal objetivo da classificação de áreas é evitar que as explosões aconteçam (Buffon, 2011).

Como o objetivo deste trabalho é adequar uma área com armazenamento de combustíveis, serão enfatizados aqui os conceitos básicos relacionados a atmosferas explosivas geradas por gases e vapores, que estão presentes neste tipo de ambiente. Os principais conceitos técnicos abordados na literatura (normas, livros e projetos de referência) são elencados a seguir:

- Atmosfera explosiva;
- Área classificada;

- Fontes de risco;
- Ponto de fulgor e ponto de combustão;
- Vaporização;
- Limites de Inflamabilidade;
- Temperatura de Autoignição;
- Técnicas de Ventilação;
- Classes de temperatura;
- Zonas de risco e Volumes de risco.

Nos próximos tópicos cada um desses termos será brevemente descrito. O objetivo não é fornecer uma descrição detalhada, mas apenas uma visão geral do assunto. Para que assim, este trabalho possa ser utilizado como uma referência inicial para os profissionais que venham a trabalhar com essa problemática. Para um maior aprofundamento, as referências (ABNT, 2009) e (Miranda, 2002) podem ser consultadas.

3.1.1 Atmosfera Explosiva

É definida como atmosfera explosiva a mistura com ar, de substâncias inflamáveis na forma de gases, vapores, névoas, poeiras ou fibras na qual após a ignição, a combustão se propaga através da mistura remanescente (ABNT, 2009).

Cabe lembrar que poeiras e fibras também podem gerar uma atmosfera explosiva, porém os parâmetros pertinentes a essas atmosferas não serão apresentados neste trabalho.

3.1.2 Área Classificada

É a área na qual está presente (ou que se espera que esteja presente) uma atmosfera explosiva de gás, em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos elétricos (ABNT, 2009).

3.1.3 Fontes de Risco

A fonte de risco é o ponto ou local no qual um gás, vapor ou líquido inflamável pode ser liberado para a atmosfera de modo a possibilitar a formação de uma atmosfera explosiva. As fontes de riscos são divididas de acordo com o seu grau de risco podendo ser fonte de risco de grau contínuo, de grau primário ou de grau secundário.

Onde existe uma liberação que é contínua ou que se espera que ocorra frequentemente por longos períodos de tempo a fonte é dita de grau contínuo. A fonte de risco de grau primário existe onde uma liberação que se espera que ocorra periodicamente ou ocasionalmente durante operação normal. Enquanto a fonte de risco de grau secundário é aquela em que uma liberação que não se espera que ocorra em operação normal e, se ocorrer, é pouco frequente e por curtos períodos (ABNT, 2009). A classificação das fontes é mostrada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação da Fonte de Risco.

Grau da fonte	Mistura Inflamável
Contínuo (Zona 0)	1000 horas ou mais por ano
Primário (Zona 1)	10 < horas por ano < 1000
Secundário (Zona 2)	Menos que 10 horas por ano

Fonte: Manual do Combustível (Costa, Silva, & Andrade, 2016).

3.1.4 Vaporização

Uma atmosfera explosiva ocorre somente quando uma substância inflamável está presente no estado gasoso e se mistura com o ar em proporções adequadas. Se a substância inflamável ocorre não como um gás, mas como um líquido, ela deve mudar para o estado gasoso para poder formar uma mistura explosiva, conforme descrito em Miranda (Miranda, 2002).

Os líquidos podem ir para o estado gasoso através do processo físico de evaporação e vaporização. A pressão de vapor de um líquido é definida como o esforço das moléculas do líquido para ganhar o espaço acima de sua superfície (Buffon, 2011). O aumento da temperatura sempre leva ao aumento da pressão de vapor e quando atinge o valor da pressão da atmosfera acima do líquido, o líquido então entra em vaporização. A evaporação acontece em todas as temperaturas e é explicada pela fuga de moléculas pela superfície do líquido (Miranda, 2002).

3.1.5 Densidade Relativa

Por definição, a densidade relativa é a razão entre a densidade (massa de uma unidade de volume) de uma substância e a densidade de um dado material de referência. A densidade relativa de um gás ou vapor é dada em relação à densidade do ar na mesma pressão e na mesma temperatura. Referencialmente, a densidade relativa do ar é igual a 1,0.

Assim, quando a área for classificada devido à presença de gases com densidade relativa inferior a 1, deve-se ter maior cuidado com as instalações elétricas nas partes altas das instalações (uma luminária, por exemplo), uma vez que a substância inflamável tende a se acumular na parte superior. Em contrapartida, quando se trata de gases com densidade relativa superior a 1, e em locais fechados, em que não haja uma forte convecção geram uma maior preocupação com as instalações elétricas na parte inferior (uma tomada baixa, por exemplo), pois os gases e vapores tendem a se acumular nas partes inferiores das instalações (Miranda, 2002).

3.1.6 Ponto de Fulgor

O fato de haver uma mistura de vapor e ar acima da superfície do líquido por si só não significa que esta mistura seja inflamável. Pois o líquido só produzirá uma grande quantidade de vapor através da evaporação quando a temperatura ambiente for suficientemente alta, que pode gerar uma mistura inflamável acima da superfície do líquido. Portanto, o ponto de fulgor é definido como a menor temperatura na qual um líquido libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável (Miranda, 2002).

No ponto de fulgor, a quantidade de vapor ainda não é suficiente para garantir uma combustão contínua, apenas uma pequena quantidade de vapor pode ser inflamada na forma de uma chama rápida, conhecida como “*flash point*”. Uma vez que a temperatura não é elevada o suficiente para manter a combustão essa chama se apagará (Buffon, 2011).

Portanto para realizar a avaliação de risco que um líquido pode gerar deve-se comparar o ponto de fulgor do líquido e a temperatura em que o mesmo se encontra armazenado, manipulado ou processado. Caso o ponto de fulgor seja mais alto que a temperatura de armazenamento não há a formação de uma atmosfera explosiva, e conseqüentemente, não haverá classificação de área. Caso contrário, teremos uma atmosfera explosiva.

3.1.7 Ponto de Combustão

O ponto de combustão pode ser definido como a menor temperatura na qual a mistura de vapor com o ar é inflamada por uma fonte de ignição e continua a queimar constantemente acima da superfície do líquido (Buffon, 2011).

A temperatura mínima, na qual acima dela o combustível mantém sua queima, é o ponto de combustão da substância. Em resumo: no ponto de fulgor as chamas dos vapores se apagam facilmente. No ponto de combustão em diante, o aquecimento continua.

3.1.8 Limites de Inflamabilidade

Quando a mistura é considerada pobre, isto é, possui uma baixa concentração da substância inflamável, a mistura ainda não é considerada inflamável. Como visto anteriormente, a mistura se torna inflamável somente a temperatura correspondente ao ponto de fulgor. A concentração mínima na qual a mistura se torna inflamável é chamada “Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)”, conforme apresentado na seção 2.1 deste trabalho.

Se a concentração continua aumentando pelo acréscimo de temperatura, é atingido um grau de concentração em que a mistura possui alta porcentagem de gases e vapores de modo que a quantidade de oxigênio é tão baixa que uma eventual ignição não consegue se propagar

neste meio (Buffon, 2011). Esta concentração é chamada de “Limite Superior de Inflamabilidade (LSI)”. Portanto, a faixa que corresponde entre o LII e o LSI é definida como “Faixa de Inflamabilidade”, o gráfico da Figura 3.1 mostra esses limites (Miranda, 2002). As substâncias que possuem altas faixas de inflamabilidade apresentam maior risco, quando comparadas com outras com faixas menores (Neto F. C., 2013).

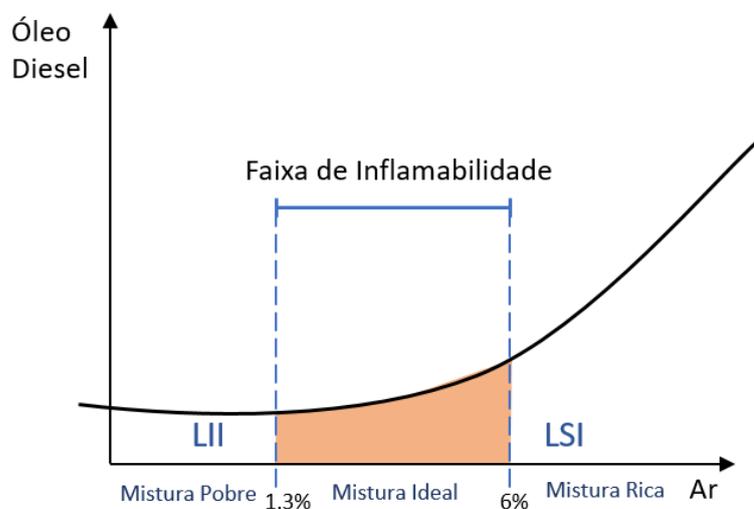


Figura 3.1 - Limite de Inflamabilidade.
Fonte: Do autor.

3.1.9 Temperatura de Autoignição

Quando há uma mistura inflamável que se encontra dentro da faixa de inflamabilidade, uma fonte de ignição pode deflagrar uma explosão. No entanto, a explosão pode acontecer sem a presença da fonte de ignição. Para isso, basta que a mistura inflamável entre em contato com uma superfície que apresente temperatura superior à temperatura de autoignição do produto. (Buffon, 2011)

Na NBR 5410 o item 5.2.2.3.3, adverte sobre a possibilidade de autoignição de misturas inflamáveis:

“5.2.2.3.3 Quando for previsto um acúmulo de poeira combustível, sobre os invólucros dos componentes elétricos, capaz de suscitar risco de incêndio, devem ser tomadas precauções para impedir que esses invólucros atinjam as temperaturas de ignição da poeira.”

Portanto, segundo a Norma, deve haver tratamento diferenciado para mitigar os riscos de autoignição em partes de equipamentos sujeitas ao risco de explosão.

3.1.10 Ventilação

A ventilação é uma das formas capazes de minimizar ou evitar a formação de uma atmosfera inflamável. Taxas adequadas de ventilação podem evitar a persistência de uma atmosfera explosiva e conseqüentemente influenciar no tipo de zona. Observa-se que é de fundamental importância uma boa avaliação das condições locais de instalação, e da quantidade máxima de gás ou vapor inflamável que pode ser liberado (Miranda, 2002).

A avaliação da ventilação pode ser uma tarefa difícil. A ventilação é do tipo adequado ou natural quando a instalação é a céu aberto, ou seja, não há obstáculos que caracterizem um ambiente fechado. A ventilação é inadequada ou limitada quando há barreiras à ventilação natural. Há ainda a ventilação artificial, que pode ser geral ou localizada (Miranda, 2002).

3.1.11 Zonas

O desenho de classificação de áreas deve mostrar as áreas classificadas existentes na unidade, seus graus de risco (zonas) e suas extensões em metros, não apenas em planta, mas também em elevação, já que não se trata de áreas, mas de “volumes de risco”. O desenho de classificação de áreas serve principalmente para definir os tipos de equipamentos elétricos a serem instalados nesses locais (Neto F. C., 2013).

As áreas classificadas são divididas em Zonas 0, 1 e 2 de acordo com a probabilidade de presença de gases, vapores e névoas, de acordo com a NBR 60079-10 (ABNT, 2009). A Tabela 3.2 mostra os conceitos de classificação em ZONA, que é o modelo adotado pelo Brasil.

Tabela 3.2 - Definição de zonas e seu critério de classificação de acordo com a ABNT.

ABNT	Descrição
Zona 0	É um local em que a atmosfera explosiva está presente de modo permanente, por longos períodos ou ainda frequentemente, sendo gerada normalmente por fonte de risco de grau contínuo. Nessas áreas a probabilidade de ocorrência de presença de atmosfera explosiva é maior que 1000 horas por ano.
Zona 1	É um local onde a atmosfera explosiva está presente em forma ocasional e em condições normais de operação, sendo normalmente gerada por fontes de risco de grau primário. Nessas áreas a probabilidade de ocorrência de atmosfera explosiva está entre 10 e 1000 horas por ano.
Zona 2	É um local onde a atmosfera explosiva está presente somente em condições anormais de operação e persiste somente por curtos períodos de tempo, sendo gerada normalmente por fontes de risco de grau secundário. Nessas áreas a probabilidade de ocorrência de presença de atmosfera explosiva está entre 1 e 10 horas por ano.

Fonte: Adaptado da Norma NBR 60079-10 (ABNT, 2009).

3.1.12 Classe de Temperatura

Os equipamentos elétricos presentes numa área classificada podem se converter em fontes de ignição também por superaquecimento provocado por uma condição de falha. Portanto, a classe de temperatura do equipamento é uma informação fornecida pelo fabricante e confirmada pela Certificadora de que este equipamento, mesmo em condição de falha, não atingirá na sua superfície um valor acima do aceitável para a atmosfera em que está presente.

Desta forma, os equipamentos localizados dentro de uma área classificada devem manter-se abaixo da temperatura de ignição dos materiais perigosos presentes nesta área. Assim, as normas internacionais para a classificação de áreas estabelecem a divisão dos fluidos inflamáveis em classes de temperatura. Existem seis classes de temperatura, conforme mostrado na Tabela 3.3, onde a classe T1 é referente à temperatura de superfície mais alta, enquanto T6 é a mais baixa (Costa, Silva, & Andrade, 2016).

Tabela 3.3 - Classes de temperatura da superfície de acordo com a ABNT.

Temperatura Máxima de Superfície [° C]	Número de Identificação (NEC/API)
450	T1
300	T2
280	T2A
260	T2B
230	T2C
215	T2D
200	T3
180	T3A
165	T3B
160	T3C
135	T4
120	T4A
100	T5
85	T6

Fonte: Manual do combustível (Costa, Silva, & Andrade, 2016).

3.1.13 Fonte de Ignição

De acordo com Lopez (Lopez, 2010), em áreas classificadas, é possível encontrar diferentes tipos de fontes de ignição capazes de iniciar uma deflagração, sendo mais conhecidas as seguintes:

- **De origem elétrica:** fiações abertas, painéis, fusíveis, tomadas, contadores, botoeiras, motores, luminárias, etc.
- **De origem eletrônica:** sensores, transmissores.
- **De origem mecânica:** esteiras, elevadores de canecas, moinhos, separadores.

- **De origem eletrostática:** por fricção, rolamento, por transporte e transferência de líquidos inflamáveis.

Ainda, existem no meio industrial, equipamentos geradores de temperatura, de chamas, descargas atmosféricas, ondas de radiofrequência e eletromagnéticas que também possuem energia suficiente para iniciar uma explosão.

3.2 Segurança e Classificação de Áreas

A classificação de áreas é um método de análise e classificação do ambiente onde possa ocorrer uma atmosfera explosiva de gás, de modo a facilitar a seleção adequada e instalação dos equipamentos a serem utilizados com segurança em tais ambientes levando em consideração o grupo de gás assim como as respectivas classes de temperatura.

Na maioria dos locais onde os produtos inflamáveis são utilizados é difícil assegurar que jamais ocorre a presença de uma atmosfera explosiva de gás. Pode também ser difícil assegurar que os equipamentos jamais se constituirão de fonte de ignição. Entretanto, em situações onde exista uma alta probabilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva de gás, a confiabilidade é obtida pelo uso de equipamentos que tenham uma baixa probabilidade de se tornarem fonte de ignição. Por outro lado, onde houver uma baixa probabilidade de ocorrência de atmosfera explosiva de gás pode se utilizar equipamentos construídos com base em normas menos rigorosas.

Raramente é possível através de uma simples observação da planta industrial ou mesmo de um projeto decidir que partes daquela indústria podem ser enquadradas na definição de zonas (zona 0, 1 e 2). É necessário um estudo mais detalhado e isto envolve a análise das probabilidades básicas de ocorrência de uma atmosfera explosiva de gás.

O primeiro passo é avaliar essa probabilidade de acordo com as definições de zona 0, zona 1 e zona 2. Uma vez que tenha sido avaliado a probabilidade de frequência e duração de uma liberação, a taxa de risco, a taxa de liberação, concentração, ventilação e outros fatores que afetam a extensão da zona. Existe então uma base confiável para determinar a probabilidade de presença da mistura explosiva nas áreas vizinhas.

Uma vez que a planta tenha sido classificada e efetuados todos os registros necessários, é importante que nenhuma modificação no equipamento ou no procedimento de operação deste

seja feita sem a prévia com todos os responsáveis pela classificação da área. Ações não autorizadas podem invalidar a classificação de áreas. É necessário assegurar que todos os equipamentos que afetam a área classificada e que tenham sido submetidos a manutenção sejam cuidadosamente verificados durante e após a montagem, com o fim de garantir que integridade original do projeto relativa a segurança seja mantida antes que os equipamentos retornem ao serviço.

3.3 Procedimento para a classificação de Área

É necessário que a classificação de áreas seja realizada por aqueles que compreendam a relevância e o significado das propriedades dos materiais inflamáveis e daqueles que estejam familiarizados com o processo de que tais equipamentos fazem parte, juntamente com a participação de pessoal qualificado das áreas de engenharia de segurança, eletricidade, mecânica e outros (ABNT, 2009).

A seguir são apresentadas as orientações sobre os procedimentos para a classificação de áreas nas quais pode haver ocorrência de uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis. A classificação de áreas necessita ser realizada quando as plantas iniciais de tubulações, os diagramas iniciais de instrumentação e os planos de arranjo iniciais estiverem disponíveis e confirmados antes da planta entrar em operação. As revisões necessitam ser realizadas durante o tempo de vida da planta quando houver alterações na mesma.

3.3.1 Identificação de Fontes de Risco

Os elementos básicos para definir as áreas classificadas consistem na identificação das fontes de risco e na determinação do grau de risco destas fontes. Considerando que uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis somente pode existir se um gás ou vapor estiver presente com o ar, é necessário avaliar se algum destes materiais inflamáveis pode existir na área considerada. De maneira geral, tais gases e vapores (bem como líquidos e sólidos inflamáveis que podem dar origem a estes) estão contidos em equipamentos de processo que podem ou não estar totalmente fechados.

É necessário identificar quando uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis pode estar presente no interior de uma planta de processo, ou quando a liberação de materiais inflamáveis pode criar uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis externamente à planta de processo (ABNT, 2009).

Cada tipo de equipamento do processo (por exemplo, tanques, bombas, tubulações, vasos etc.) deve ser considerado uma fonte potencial de risco de liberação de gases inflamáveis. Se não for previsto que o equipamento contenha material inflamável, este claramente não criará uma área classificada ao seu redor. O mesmo se aplica se o equipamento contiver material inflamável, mas não seja capaz de liberar esse material para a atmosfera (por exemplo, uma tubulação totalmente soldada não é considerada uma fonte de risco).

Se for estabelecido que o equipamento pode liberar material inflamável para a atmosfera, é necessário, em primeiro lugar, determinar o grau de risco de liberação de acordo com as definições, estabelecendo a frequência de ocorrência e a duração da liberação. Necessita ser entendido que a abertura de partes de sistemas de processo fechados (por exemplo, durante a substituição de filtros ou enchimento em processos por batelada) necessita também ser considerada como fontes de risco, quando da elaboração da classificação de áreas. Por meio deste procedimento, cada fonte de risco deve ser classificada como grau “contínuo”, “primário” ou “secundário” (ABNT, 2009).

Tendo sido estabelecido o grau da fonte de risco, é necessário determinar a taxa de liberação e outros fatores que podem influenciar o tipo e a extensão da zona. Se a quantidade total de material inflamável possível de ser liberado for “pequena”, por exemplo, caso de um laboratório, apesar de um risco potencial poder existir, pode não ser adequado utilizar esse procedimento de classificação de áreas. Em tais casos, deve levar em consideração as particularidades dos riscos envolvidos. A classificação de áreas de equipamentos de processos nos quais o material inflamável é queimado, como por exemplo, queimadores, fornos, caldeiras, turbinas a gás, etc., necessita ser levado em consideração as suas etapas de ciclo de purga e condições de partida e de parada.

Névoas que possam ser formadas devido a vazamentos de líquidos podem ser inflamáveis mesmo se a temperatura do líquido estiver abaixo do ponto de fulgor. É importante, desta forma, assegurar que nuvens de névoas não possam ser formadas (ABNT, 2009).

3.3.2 Determinação do Tipo de Zona

A probabilidade de presença de uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis depende principalmente do grau da fonte de risco e da ventilação. Isto é identificado como uma zona. Zonas são classificadas como: zona 0, zona 1, zona 2 e áreas não classificadas. Uma fonte de risco de grau contínuo normalmente leva a uma zona 0, uma fonte de risco de grau primário a uma zona 1 e uma fonte de risco de grau secundário a uma zona 2. Para os casos quando zonas criadas por fontes de risco adjacentes que possuem sobreposição e são de diferentes classificações, a maior classificação de risco deve prevalecer na área de sobreposição.

3.3.3 Extensão de Zonas

A extensão de zonas depende da distância estimada ou calculada sobre a qual uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis exista antes que esta possa dispersar no ar para uma concentração abaixo do seu limite inferior de explosividade, com um fator apropriado de segurança. Para a avaliação da extensão da área do gás ou vapor até o ponto no qual a diluição atinja um valor abaixo do seu limite inferior de explosividade, é recomendado que seja feita uma consulta a um especialista (ABNT, 2009).

Considerações necessitam ser sempre realizadas sobre a possibilidade de que um gás que seja mais pesado do que o ar possa fluir para o interior de área abaixo do nível do solo (por exemplo, em poços ou depressões) e que um gás que seja mais leve do que o ar possa ser acumulado em um nível superior (por exemplo, no espaço sob um telhado).

Nos locais onde a fonte de risco esteja situada fora da área sob consideração ou em uma área adjacente, a penetração de uma quantidade significativa de gás ou vapor inflamável para esta área pode ser evitada por meios adequados, como: barreiras físicas; manutenção de uma sobrepressão adequada na área em relação à área classificada adjacente, desta forma evitando o ingresso da atmosfera explosiva de gás (ABNT, 2009).

3.3.4 Taxas de Liberação de Gás ou Vapor

Quanto maior for a taxa de liberação do material inflamável, maior será a extensão da área classificada. A taxa de liberação depende dos seguintes parâmetros:

- a) Geometria da fonte de risco: Isto está relacionado com as características físicas da fonte de risco, por exemplo, uma superfície aberta, o vazamento de flange, etc.
- b) Velocidade de liberação: Para uma dada fonte de risco, a taxa de liberação aumenta com a velocidade de liberação. No caso de um produto contido dentro de um equipamento de processo, a velocidade de liberação está relacionada com a pressão de processo e com a geometria da fonte de risco. Gás ou vapor fluindo de um vazamento com alta velocidade irá desenvolver um jato em forma de cone que se mistura com o ar e se autodilui. Se o material for liberado a baixa velocidade ou se a sua velocidade for reduzida pela colisão com um objeto sólido, o material inflamável é carregado pelo vento e sua diluição e extensão dependerão desta velocidade do vento.
- c) Concentração: A taxa de liberação aumenta com a concentração de gás ou vapor inflamável na mistura liberada.
- d) Volatilidade de um líquido inflamável: A volatilidade está relacionada principalmente à pressão de vapor e à entalpia (“calor”) de vaporização. Se a pressão de vapor não for conhecida, pode ser utilizado como referência o ponto de ebulição e o ponto de fulgor. Não existe uma atmosfera explosiva de gás se o ponto de fulgor for superior à temperatura aplicável do líquido inflamável. Quanto mais baixo for o ponto de fulgor, maior pode ser a extensão da zona. Entretanto, se um material inflamável for liberado de modo a formar uma névoa, (por exemplo, por pulverização), uma atmosfera explosiva de gás pode ser formada abaixo do ponto de fulgor do material.

3.3.5 Limite Inferior de Explosividade (LIE)

Para um dado volume liberado, quanto menor o LIE, maior é a extensão da zona. A experiência tem mostrado que uma liberação de amônia, com um LIE de 15 % em volume,

frequentemente irá se dissipar rapidamente em um ambiente aberto, de forma que uma atmosfera explosiva de gás irá, na maioria dos casos, possuir uma extensão desprezível.

3.3.6 Ventilação

Com o aumento da ventilação, a extensão da zona é normalmente reduzida. Obstáculos que possam impedir a ventilação podem aumentar a extensão da zona. Por outro lado, alguns obstáculos, por exemplo, diques, paredes ou tetos, podem limitar a extensão da zona (ABNT, 2009).

3.3.7 Densidade Relativa do Gás ou Vapor Quando Liberado

Se um gás ou vapor for significativamente mais leve do que o ar, este tende a subir. Se for significativamente mais pesado, este tende a se acumular no nível do solo. A extensão horizontal da zona no nível do solo aumentará com o aumento da densidade relativa e a extensão vertical na área acima da fonte de risco aumentará com a redução da densidade relativa.

Para aplicações práticas, um gás ou vapor que possua uma densidade relativa abaixo de 0,8 é considerado como sendo mais leve do que o ar. Se a densidade relativa for acima de 1, este é considerado como sendo mais pesado do que o ar (ABNT, 2009). Entre estes valores, as duas possibilidades necessitam ser ponderadas. Com gases ou vapores mais leves que o ar, uma liberação em baixa velocidade irá se dispersar para cima rapidamente; a presença de uma cobertura, no entanto, inevitavelmente aumentará a área de dispersão sob ela. Se a liberação for a alta velocidade em jato livre, a ação do jato, apesar da entrada de ar que dilui o gás ou vapor, pode aumentar a distância sobre a qual a mistura de gás/ar permanece acima do seu LIE. Para gases que são mais leves que o ar, a liberação a alta pressão pode resfriar o gás gerando aumento de sua densidade relativa. O gás liberado pode inicialmente comportar-se como mais pesado que o ar antes de retornar a sua característica normal (ABNT, 2009).

3.3.8 Outros Parâmetros a Serem Considerados

a) Condições climáticas:

A taxa de dispersão de gás ou vapor na atmosfera aumenta com a velocidade do vento, mas existe uma velocidade mínima de 2 m/s a 3 m/s, requerida para iniciar uma difusão turbulenta; abaixo disto, ocorre a acumulação do gás ou vapor e a distância para uma dispersão segura é aumentada consideravelmente. Em áreas de processo obstruídas pela presença de grandes vasos e estruturas, a velocidade do movimento do ar pode ser substancialmente menor do que a velocidade do vento; apesar disto, a obstrução do movimento do ar por equipamentos tende a manter uma turbulência mesmo em baixas velocidades de vento.

b) Topografia:

Alguns líquidos são menos densos do que a água e não são prontamente miscíveis com esta: tais líquidos podem se espalhar na superfície da água (se esta estiver acima do nível do solo, em sistemas de drenagem da planta ou em trincheiras de tubulações) e pode então causar a ignição em um ponto afastado do derramamento original, colocando em risco uma grande área da instalação. O arranjo das instalações da planta, quando possível, necessita ser projetado para facilitar a rápida dispersão da atmosfera explosiva de gás. Uma área com ventilação restrita (por exemplo, valas ou trincheiras) que poderiam de outra forma ser uma área de zona 2, pode requerer classificação como zona 1; por outro lado, depressões de grandes dimensões utilizadas em sistemas de bombeamento ou galerias de tubulações, podem não requerer tal rigor no seu tratamento.

Após seguir todo o procedimento descrito acima é possível realizar a classificação de uma área e gerar toda a documentação necessária para a operação de uma planta.

3.4 Tipos de Proteção

A norma NBR 60079-0 (ABNT, 2006) atribui uma simbologia para cada tipo de proteção capaz de evitar a ignição de uma atmosfera inflamável. Esta simbologia é utilizada exclusivamente em equipamentos que operam em áreas classificadas. A simbologia adotada é a seguinte: A sigla Ex, seguida de uma letra minúscula, com significado para cada tipo de proteção considerado. Todos os tipos de proteção existentes serão descritos a seguir.

3.4.1 Segurança Intrínseca

Tipo de proteção baseada na restrição de energia elétrica envolvendo equipamentos e fiação de interconexão expostos a uma atmosfera explosiva, a um nível abaixo daquele capaz de causar ignição, em condições normais ou anormais não há liberação de energia suficiente para inflamar uma atmosfera explosiva. Pode ser usada em todas as zonas e seu princípio de proteção é a supressão.

A segurança intrínseca é o único tipo de proteção baseado em seu modo de operação. Todas as outras técnicas se baseiam na eliminação da atmosfera explosiva das possíveis fontes de risco (que causam ignição), ou na contenção da formação dessas fontes de risco ou ainda evitando a explosão no interior do invólucro.

3.4.2 Encapsulados

Tipo de proteção onde partes que são capazes de ignizar uma atmosfera explosiva são encapsuladas em um composto de tal forma que a atmosfera explosiva não possa ser ignizada sob condições de operação, seja por centelhamento ou aquecimento. Pode ser usado em todas as zonas e o método de proteção é a segregação.

3.4.3 Pressurizados

A pressurização é uma técnica de prevenção contra o ingresso de atmosfera externa no interior de um invólucro, através de manutenção de um gás de proteção interno, a uma pressão acima da atmosfera externa. Este tipo de proteção pode ser usado em zona 1 e zona 2. Seu método de proteção é a segregação.

3.4.4 À Prova de Explosão

Tipo de proteção em que as partes que podem ignizar uma atmosfera explosiva são instalados dentro de um invólucro que pode suportar a pressão desenvolvida durante uma explosão interna de uma mistura explosiva e que evita a transmissão da explosão para a atmosfera explosiva ao redor do invólucro. Pode ser utilizado em zona 1 e seu método de proteção é o confinamento.

O invólucro à prova de explosão é um sistema suficientemente vedado para não propagar uma explosão, cuja a temperatura superficial não provoca a ignição de uma atmosfera explosiva (ABNT, 2016). Isto implica uma construção robusta, com tampas roscadas ou parafusadas. Esses invólucros são construídos de forma a resistir mecanicamente à pressão, na ocorrência da ignição de uma mistura em seu interior, impedindo a propagação da explosão para o meio externo.

A NBR 5363 especifica os interstícios máximos (MESG) entre as peças dos invólucros blindados. Tais interstícios auxiliam no alívio da pressão interna ao invólucro no caso de uma explosão em seu interior. A largura e comprimento desses interstícios, com valores normalizados, deve ser suficiente para que o gás se resfrie antes de alcançar o ambiente externo.

Esse é o tipo de invólucro mais utilizado em áreas classificadas, devido à sua compatibilidade com as zonas, em ambientes onde a atmosfera explosiva é gerada pela presença de gases ou vapores inflamáveis. Na Figura 3.2 podem ser vistos exemplos desse tipo de proteção.



Figura 3.2 - Equipamentos do tipo Ex d: Motor Ex d (a), Caixa de passagem Ex d (b).

Fonte: Manuais de fabricantes.

3.4.5 Segurança Aumentada

Tipo de proteção aplicada aos equipamentos elétricos nos quais medidas adicionais são aplicadas, com o objetivo de oferecer uma maior segurança contra a possibilidade de temperaturas excessivas e da ocorrência de arcos ou centelhas em regime normal ou sob condições anormais especificadas. É utilizado em zona 1 e sua técnica de proteção é a supressão.

3.4.6 Imersão em Óleo

Tipo de proteção na qual o equipamento ou partes elétricas são imersas em um líquido de proteção de tal forma que se houver uma atmosfera inflamável acima do líquido ou na parte externa do invólucro, essa atmosfera não é possível de ser inflamada. Não são todos os equipamentos imersos em óleo que podem ser utilizados em atmosferas explosivas, apenas os certificados para este fim. É utilizado em zona 1 e sua técnica de proteção é a segregação.

3.4.7 Imersão em Areia

Tipo de proteção na qual partes capazes de inflamar uma atmosfera explosiva são fixados em posições e completamente circundados por um material de enchimento (quartzo ou partículas de vidro) para evitar a ignição de uma atmosfera explosiva externa. É usado em zona 1 e o tipo de proteção é a segregação.

3.4.8 Não Acendível

O tipo de proteção não acendível é aplicada a equipamentos elétricos que, em operação normal e em certas condições anormais especificadas, não sejam capazes de causar ignição em uma atmosfera explosiva ambiente. É utilizado somente em zona 2 e a técnica de proteção é a supressão.

3.4.9 Proteção por Invólucro

Tipo de proteção onde todos os equipamentos elétricos são protegidos por um invólucro para evitar a ignição de uma camada ou nuvem de poeira.

Tabela 3.4 - Representação dos Tipos de Proteção.

Tipo de Proteção	Sigla
Segurança Intrínseca	EX-I
Encapsulados	EX-M
Pressurizados	EX-P
À Prova de Explosão	EX-D
Segurança Aumentada	EX-E
Imersão em Óleo	EX-O
Imersão em Areia	EX-Q
Não Acendível	EX-N
Proteção por Invólucro	EX-T

Fonte: Adaptado da Norma NBR 60079-0 (ABNT, 2006).

Na Tabela 3.4 está apresentada a sigla empregada nos equipamentos para cada um dos tipos de proteção.

3.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo foram abordados os principais termos técnicos e conceitos usualmente encontrados na literatura pelos profissionais responsáveis por administrar áreas de risco com atmosferas explosivas.

As principais fases para classificar uma área foram elencadas, em uma abordagem que descreve o passo-a-passo do processo de classificação das áreas e zonas. Por fim, como medida de mitigação dos riscos, foram listados os principais tipos de proteção de equipamentos.

No próximo capítulo os termos e conceitos abordados até aqui serão empregados em um estudo de caso envolvendo a avaliação do risco de um projeto residencial.

4. ESTUDO DE CASO

Este capítulo tratará do estudo de caso realizado, a partir do projeto da planta residencial que foi desenvolvido e gerou este estudo. A partir dos conhecimentos em ambientes de atmosfera explosiva e dos conceitos de grau de risco, será realizada a classificação do mesmo e definidas as especificações das instalações.

4.1 Descrição do Ambiente

Neste estudo de caso será considerado um ambiente que consiste em um condomínio residencial dotado de um grupo gerador para suprir as cargas elétricas na eventualidade de uma interrupção do fornecimento. O gerador também pode ser empregado nos momentos de pico de demanda quando economicamente atrativo.

O projeto deste condomínio foi desenvolvido especificamente para este trabalho. Serão apresentados os diversos esquemas do projeto elétrico proposto, os diagramas unifilares das residências e dos quadros de distribuição, a planta baixa com o desenho das delimitações das áreas construídas e o desenho com a demonstração das regiões de risco da área classificada.

Os condomínios atualmente, tanto de casas como de apartamentos, estão entre as opções de moradia mais demandadas nos grandes centros urbanos, uma vez que podem oferecer maior segurança e comodidade, além de diversas possibilidades de lazer. O condomínio a ser analisado neste capítulo para realizar um estudo de classificação de área é mostrado na Figura 4.1. As demais plantas e informações referentes ao condomínio considerado neste caso de estudo são apresentadas no Apêndice A deste trabalho.

Assumiu-se como recomendação para o projeto deste condomínio, que o grupo gerador seja dotado de autonomia de 4 horas, na eventualidade de falha no fornecimento de energia e para ajudar no suprimento de energia durante o horário de pico. Para operar continuamente durante o período especificado, é necessário armazenar combustível e, portanto, faz-se necessário um tanque para esta finalidade, como pode ser visto na Figura 4.2.

Tendo em vista que o tanque ficará no mesmo ambiente que os geradores, é possível afirmar que provavelmente haverá uma área a ser classificada. Desta forma, deve-se executar um estudo desse ambiente, de forma a avaliar todos os possíveis riscos e, posteriormente, recomendar ações para mitiga-los.

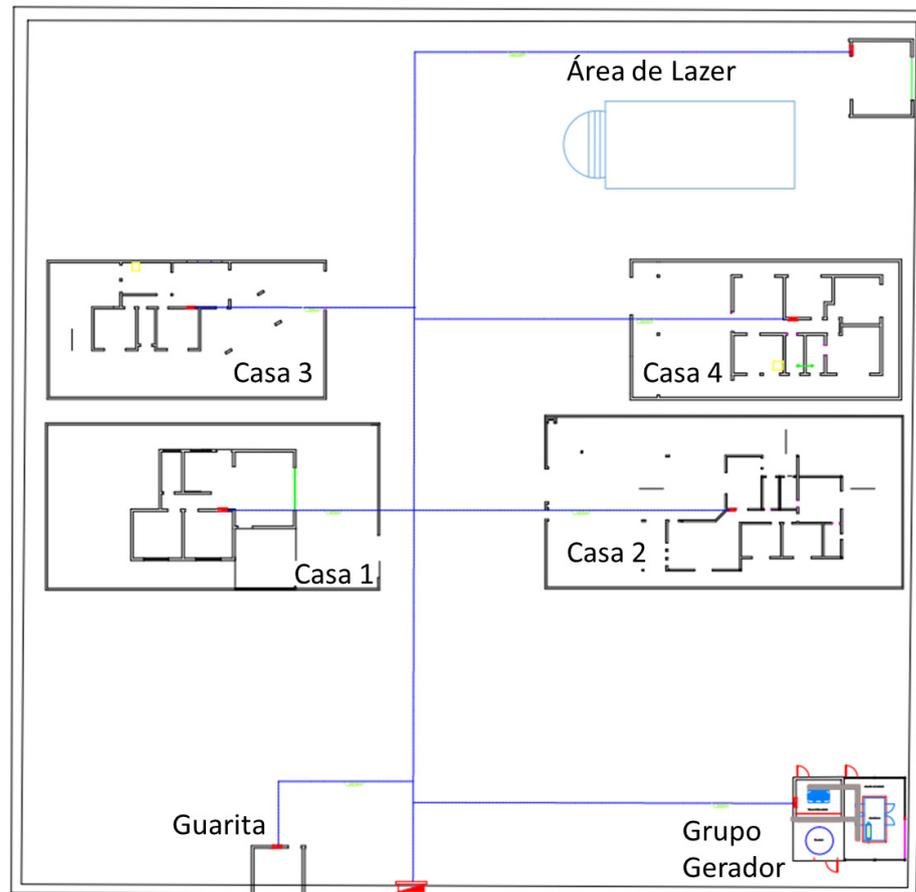


Figura 4.1 - Condomínio Residencial com Grupo Gerador.

Fonte: Do autor.

A presença do tanque de armazenamento de óleo diesel é o principal fator responsável pela existência de uma atmosfera que pode ser considerada potencialmente explosiva, uma vez que naturalmente esse líquido vai se contrair e dilatar de acordo com a mudança de temperatura durante o dia, provocando o desprendimento de vapores combustíveis a partir do líquido.

Se os vapores atingirem uma quantidade suficiente para que haja uma mistura ideal, então se forma um ambiente com atmosfera explosiva. Na presença de uma fonte de ignição, poderá ser deflagrada uma explosão. Além disso, devido à presença de equipamentos elétricos

nas imediações do tanque, há a necessidade de avaliação do risco e consequente classificação da área.

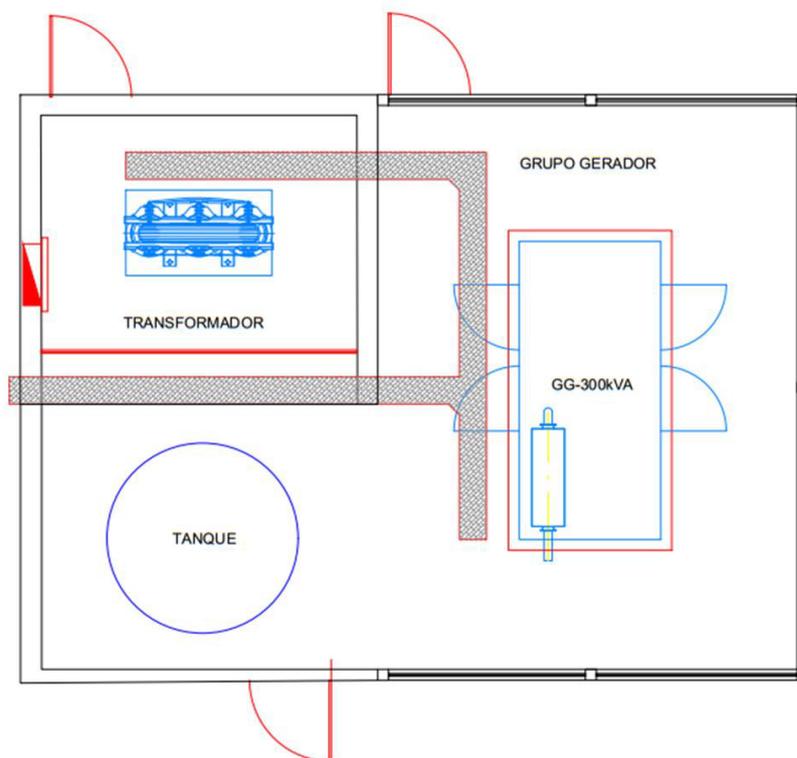


Figura 4.2 - Grupo Gerador.

Fonte: Do autor.

4.1.1 Organização da Rede Elétrica da Planta Residencial

A concessionária fornece energia em média tensão ao condomínio. A medição é efetuada logo após o ponto de entrada, como ilustrado nas Figuras 4.3 e 4.4. Devido à presença do gerador, há a necessidade de um sistema de chaveamento automático realizado pelo Quadro de Transferência Automática (QTA). As residências são supridas por circuitos monofásicos, cada ponto derivado da rede elétrica é protegido seletivamente via disjuntores no Quadro de Distribuição próprio.

Prioritariamente a energia é fornecida pela concessionária e, em caso de falha no fornecimento, é realizado um chaveamento automático para o grupo gerador, que por sua vez

suprirá a demanda de todo o condomínio por pelo menos quatro horas (sem a necessidade de reabastecimento).

Na Figura 4.3 apresenta-se o diagrama esquemático geral de como se propõe a organização da rede de distribuição de energia internamente na planta. A presença de um gerador em um conjunto residencial, embora ainda não muito comum, pode ser vista como uma fonte de geração distribuída. Há uma tendência geral, dado que os consumidores estão cada vez mais informados, que sejam implantados cada vez mais projetos com esse tipo de filosofia. A presença de geração própria é um diferencial, por garantir confiabilidade no fornecimento, uma vez que mesmo na ocorrência de falhas na rede da concessionária de energia, não haverá interrupção do fornecimento de energia para a planta.

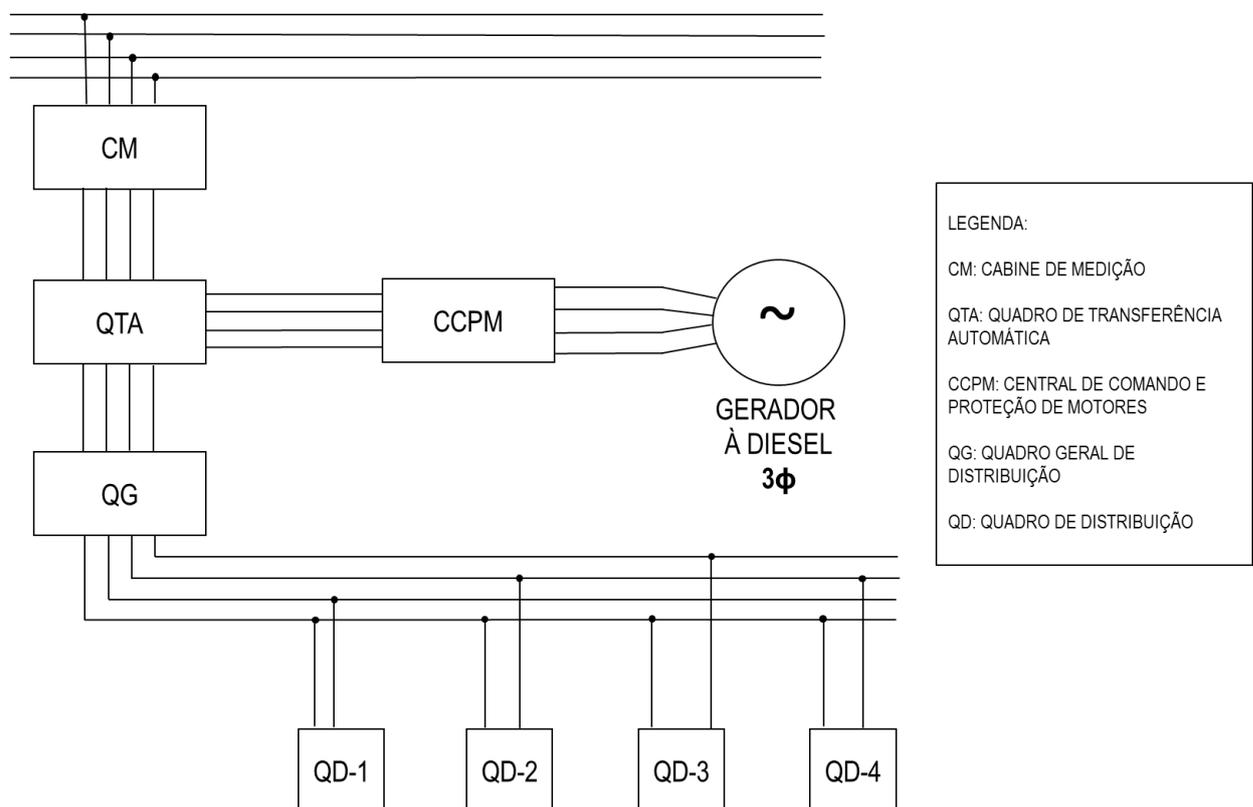


Figura 4.3 - Diagrama Esquemático Geral Multifilar.

Fonte: Do autor.

É necessário enfatizar que, dependendo das regras vigentes, usualmente não é permitido o paralelismo permanente entre geradores particulares e o sistema de distribuição

da concessionária de energia elétrica (Grupo Equatorial, 2014). Desta forma, a geração própria deve ser usada apenas para as condições de demanda pico ou na ocorrência de falhas da rede de distribuição.

De acordo com as normas técnicas (Grupo Equatorial, 2014), instalações que possuem geradores devem ser providas de chave reversora com intertravamento (mecânico ou eletromecânico visível), de forma a garantir o não paralelismo entre os sistemas.

O intertravamento eletromecânico foi adotado no projeto, como pode ser visualizado na Figura 4.4, onde está representado o diagrama unifilar geral do condomínio idealizado para o estudo de caso.

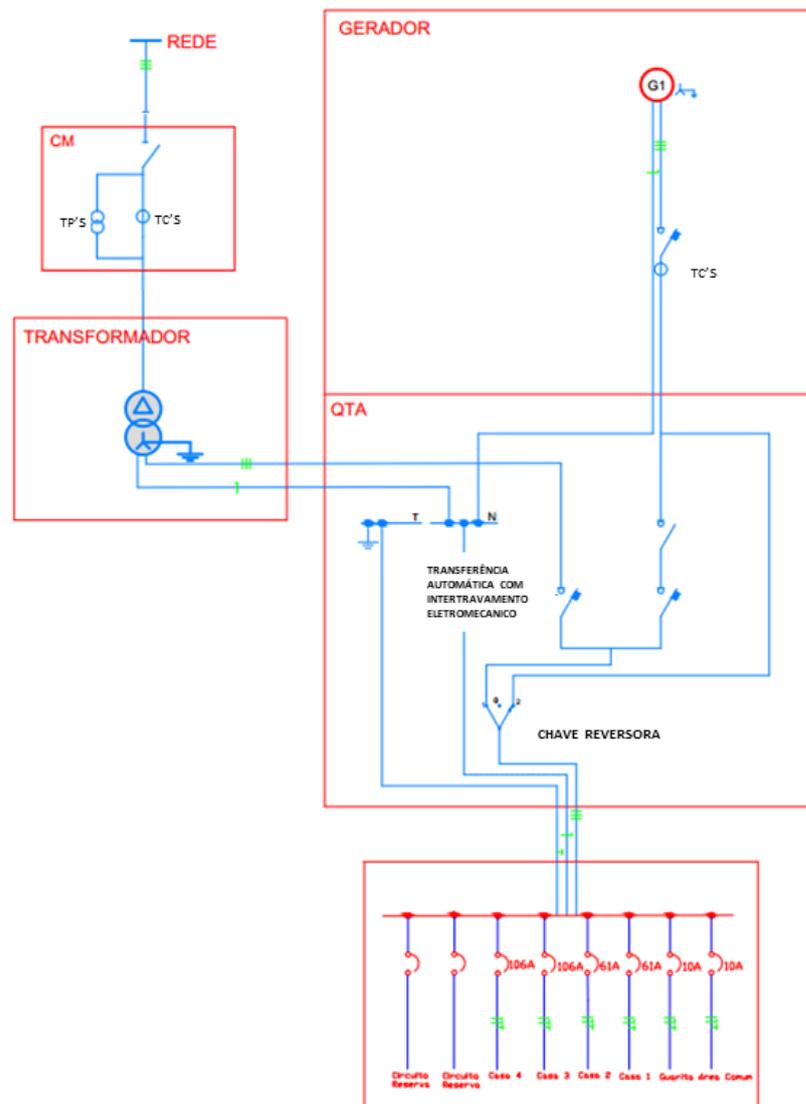


Figura 4.4 - Diagrama Unifilar do Condomínio.

Fonte: Do autor.

4.2 Classificação do Ambiente

Dependendo das condições gerais do projeto, pode-se recomendar o armazenamento do combustível em lugares distantes do local onde se encontram os equipamentos elétricos. Porém, por razões de custo, organização e de disponibilidade de espaço, o tanque para armazenar o óleo diesel foi instalado no mesmo ambiente onde se encontra o grupo gerador. Neste ambiente há também a presença de luminárias e dos equipamentos de proteção dos circuitos elétricos (disjuntores, chaves, etc).

Devido à presença do risco de explosão, os equipamentos empregados nesse ambiente devem possuir uma proteção adequada. Como o tanque e o gerador compartilham o mesmo ambiente, essa área deve ser classificada como sendo de Zona 2. Entretanto, caso fosse analisado um ambiente real, deveriam ser verificadas as condições de ventilação. Sendo detectada a inexistência de ventilação adequada, há o risco de agravamento da classificação podendo ser alterada para Zona 1 (o que iria aumentar o grau de restrição e demandar maior proteção aos equipamentos).

Se as considerações feitas forem aplicadas na prática todos os equipamentos utilizados no ambiente devem ser à prova de explosão, o que pode elevar os custos do projeto significativamente. Devido à presença de diversos dispositivos elétricos do gerador, se todos os componentes do sistema fossem protegidos, além dos impactos no custo do projeto haveria também impacto na montagem operação e manutenção desses equipamentos. Uma vez que a robustez dos equipamentos pode dificultar o acesso aos componentes e requer que as pessoas com autorização para acessar esses equipamentos recebam um treinamento para trabalhar com áreas classificadas.

Para realizar a classificação do ambiente do presente estudo de caso serão seguidos todos os passos previstos na NBR 60079-10 (ABNT, 2009), que consistem em:

- Identificar fontes de Risco;
- Determinar tipo e extensão das Zonas;
- Determinar as taxas de liberação de gás ou vapor;

- Avaliar os Limites de explosividade (LIE) e
- Adequar a Ventilação.

Cada um desses passos será explorado nos tópicos a seguir utilizando o fluxograma mostrado na Figura 4.5.

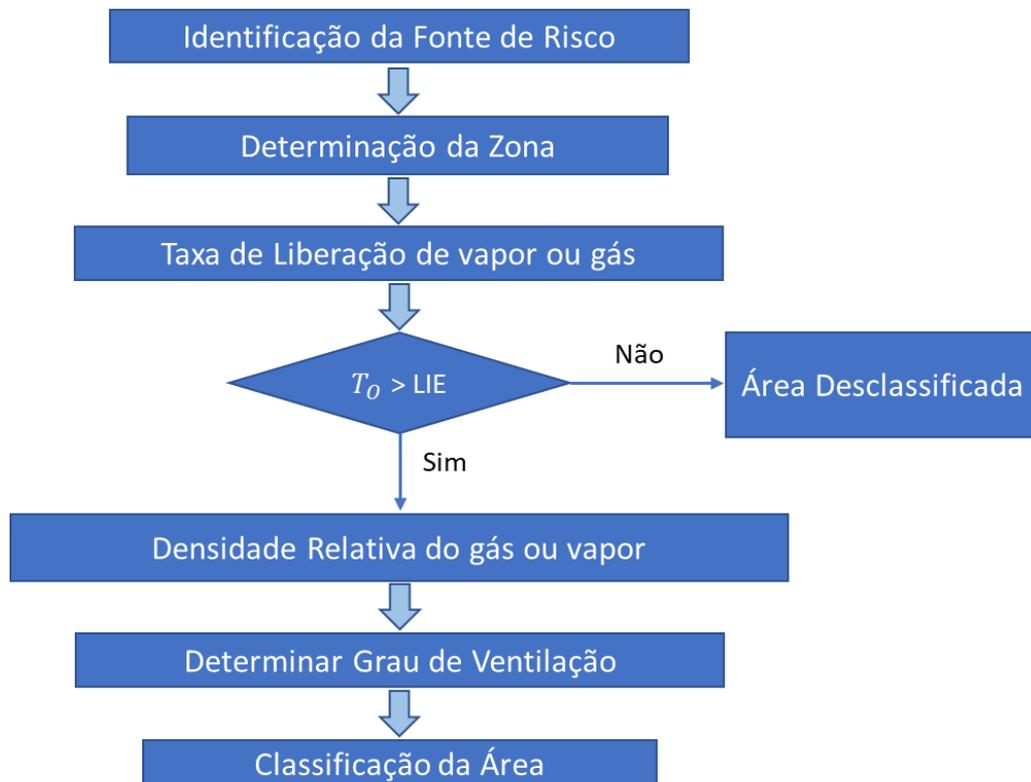


Figura 4.5 - Fluxograma para Classificação da Área.

Fonte: Do autor.

4.2.1 Identificação das Fontes de Risco

Como já foi dito neste trabalho, a fonte de risco consiste no local onde pode haver liberação de gás, líquido ou vapor inflamável. Podendo ser fonte de risco de grau contínuo, de grau primário ou de grau secundário, de acordo com a quantidade da substância presente no ambiente.

O combustível (óleo diesel) que ficará contido dentro do tanque é considerado um líquido inflamável, de acordo com a Tabela 4.1, uma vez que o seu ponto de fulgor é 38°C. Devido às suas propriedades químicas, a sua liberação através de algum ponto pode levar a formação de uma atmosfera explosiva.

Tabela 4.1 - Classificação de líquidos e combustíveis inflamáveis.

Ponto de Fulgor (PF)	Tipo Líquido
$PF \leq 60^{\circ}\text{C}$	Inflamável
$60^{\circ}\text{C} < PF \leq 93,3^{\circ}\text{C}$	Combustível

Fonte: NR 20.

Neste estudo de caso, tem-se um ambiente que abriga um tanque armazenando um líquido inflamável. As características físicas do tanque devem ser analisadas para que as fontes de risco sejam identificadas de maneira correta. O tanque a ser utilizado será um tanque pulmão de superfície, este tipo de tanque deve ser provido de meios para prevenir o enchimento excessivo, através de algum tipo de alarme.

Os tanques de armazenamento também devem ser adequadamente ventilados por meios de respiros ou recurso similar, e quando o líquido armazenado for do tipo não condutivo, que é o caso do diesel, o tanque deve ser adequadamente aterrado (Costa, Silva, & Andrade, 2016).

A superfície de um líquido inflamável em um tanque de teto é considerada uma fonte de risco de grau contínuo, bem como o respiro do tanque é considerado uma fonte de risco de grau primário (ABNT, 2009). A porta de acesso da sala em que se encontra o tanque também deve ser levada em consideração, e neste caso é uma fonte de risco de grau secundário.

Com base nessas informações, obtidas em consulta às normas, foi possível simular cenários de liberação de gases e identificar as possíveis probabilidades de formação de atmosfera explosiva (Amaral, 2015):

- Interior do tanque:
 - a. Frequência: sempre há liberação quando está carregando;
 - b. Duração estimada $> 1.000\text{h/ano}$;
 - c. Grau de risco contínuo.

- Respiro
 - a. Abertura: tipo B;
 - b. Frequência: liberação de gás eventual em operação normal e durante preenchimento com água;
 - c. Duração estimada de 10 a 1.000h/ano;
 - d. Grau primário.

- Aberturas (porta, janelas) da sala do tanque:
 - a. Abertura: tipo A;
 - b. Frequência: liberação de gás acidental por curto prazo;
 - c. Duração estimada < 10 h/ano;
 - d. Grau Secundário.

4.2.2 Determinação dos Tipos de Zonas

A identificação de uma Zona acontece quando a presença da atmosfera explosiva depende do grau da fonte de risco e da ventilação. Anteriormente, foram definidas as fontes de risco e foram encontrados os três tipos de fontes, essas fontes serão agora utilizadas para a determinação das zonas.

A fonte de grau contínuo leva a uma zona 0, enquanto a de grau primário leva a uma zona 1 e a de grau secundário leva a uma zona 2. Como esses riscos são adjacentes e possuem diferentes classificações, no ambiente a maior fonte de risco deve prevalecer classificando o ambiente como Zona 0.

A extensão de zonas dependerá da distância estimada sobre a qual uma atmosfera explosiva de gases inflamáveis exista antes que está possa dispersar no ar para uma concentração abaixo do seu limite inferior de explosividade, com um fator apropriado de segurança. Ressalta-se que esse tipo de estudo (de extensão de zonas) deve ser realizado por

um profissional especializado e não serão consideradas as classificações das “zonas estendidas” no estudo de caso.

4.2.3 Determinação da Taxa de liberação de Vapor

Para continuar realizando a classificação de área, é necessário conhecer as características líquido inflamável presente no ambiente (neste caso, óleo diesel ou similar) para melhor classificar a área. Essas características estão descritas na Tabela 4.2 (Otsuka, 2011).

Tabela 4.2 - Principais propriedades do Óleo Diesel.

Substância	Densidade de Vapor (AR=1)	Limites de Inflamabilidade (% em volume)		Temperatura de Ignição (°C)	Classe de Temperatura	Grupo
		Superior	Inferior			
Óleo Diesel	46 (estimado)	6,0	1,3	176,8 °C a 329,7 °C	T2	IIA

Fonte: Análise quantitativa da extensão de Áreas Classificadas (Otsuka, 2011).

A taxa de liberação do material inflamável tem influência direta na extensão da área classificada. Outros fatores que também influenciam na extensão da área são a geometria da fonte de risco, a velocidade de liberação dos gases e a volatilidade do líquido inflamável.

A geometria da fonte de risco está relacionada com as características físicas da fonte de risco, neste caso formato do corpo de tanque e do respiro. Como pode ser visto na Tabela 4.2, o óleo diesel possui uma densidade de vapor superior à do ar. Assim, o vapor que se desprender do líquido vai se acumular ao redor do tanque próximo ao nível do solo. Essa geometria vai ser extremamente importante no desenho das áreas de risco, principalmente quando associada a característica da densidade de vapor.

A velocidade de liberação está relacionada com a pressão de processo e com a geometria da fonte de risco, principalmente para casos como o deste estudo, onde o líquido inflamável encontra-se contido dentro do tanque. A taxa de liberação pode ser afetada pela

velocidade de liberação. Neste estudo, o vapor fluirá pelo “respiro do tanque”. Assim, a fonte tem capacidade de dispersar os vapores. Entretanto, como usualmente o “respiro” pode não ter um diâmetro grande o suficiente, a uma velocidade de liberação é média. Assim, a diluição e extensão dos vapores combustíveis dependerão da velocidade do vento.

A volatilidade de um líquido inflamável está relacionada principalmente à pressão de vapor e à entalpia de vaporização. A pressão de vapor do óleo diesel não é conhecida, por isso será como adotado como referência o ponto de ebulição e o ponto de fulgor. Como foi dito, o ponto de fulgor do óleo diesel é 38°C, o que pode ser considerado baixo devido ao fato de a temperatura de operação dentro tanque deve alcançar temperatura acima de 40°C. Quanto mais baixo é o ponto de fulgor, maior a extensão da zona.

A temperatura de ignição do óleo diesel se encontra entre 176,8 °C e 329,7 °C, portanto a classificação dos equipamentos que podem ser utilizados nesse ambiente é da classe de temperatura T2. Esta temperatura de ignição alta pode ser uma característica positiva uma vez em operação normal nenhum componente elétrico presente no ambiente alcançara essas temperaturas. Entretanto, o risco de ignição para substâncias que possuem ponto de fulgor entre 18°C e 38°C é considerado um risco alto (Santini, 2017).

4.2.4 Limite Inferior de Inflamabilidade

Observando a Tabela 4.2 é possível perceber que a faixa de inflamabilidade do óleo diesel é pequena, entretanto o limite inferior de inflamabilidade é extremamente baixo, o que significa que a partir de uma concentração 1,3% em volume de óleo diesel na atmosfera já pode causar o surgimento de uma atmosfera explosiva. Quanto menor o LIE, maior é a extensão da zona.

A energia de ignição do óleo diesel pode ser considerada baixa, sua classificação em relação aos equipamentos que podem ser instalados é a do grupo IIA, este é o grupo que necessita da segunda menor energia de ignição para deflagrar uma explosão.

Portanto, o ambiente desse estudo de caso até o presente momento possui a seguinte classificação: Zona 0, Grupo IIA e T1. Entretanto, é necessário ressaltar que esta classificação ainda não está levando em consideração o grau de ventilação do ambiente, que será avaliado no próximo tópico.

4.2.5 Determinação do Grau de Ventilação

Nesta etapa do estudo de caso será determinado o grau de ventilação do ambiente, de acordo com as especificações normativas. A necessidade do estudo da ventilação se dá pelo fato desta ter uma influência no grau de risco. Caso haja um baixo grau de ventilação, o grau de risco pode aumentar. Da mesma forma, caso haja um alto grau de ventilação, pode haver uma diminuição do grau da fonte de risco.

Para realizar a determinação do grau de ventilação é recomendado calcular volume hipotético V_z , que consiste no volume em qual a concentração média do gás ou vapor inflamável é tipicamente 25% ou 50% do limite inferior de explosividade (LIE). Segundo a norma, o volume V_z pode determinar o grau de ventilação como alto, médio ou baixo para cada grau de liberação da fonte de risco (ABNT, 2009).

A determinação do volume hipotético V_z é realizada pela equação da taxa de vazão mínima da ventilação teórica de ar (dV/dt) necessária para diluir uma determinada quantidade de material inflamável e uma concentração requerida abaixo do LIE. O cálculo da vazão mínima de ventilação é dado na eq. 4.1.

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{min} = \frac{\frac{dg}{dt}_{max}}{k \times LIE_m} \times \frac{T}{293} \quad (4.1)$$

Sendo:

$(dV/dt)_{min}$ = a taxa mínima de vazão volumétrica de ar (volume por tempo, m³/s);

$(dG/dt)_{max}$ = a taxa máxima de liberação na fonte de risco (massa por tempo, kg/s);

LIE_m = o limite inferior de explosividade (massa por volume, kg/m³);

k = o fator de segurança aplicado ao LIE :

$k = 0,25$ (para fontes de risco de graus contínuo e primário)

$k = 0,5$ (para fontes de risco de grau secundário);

T = a temperatura ambiente (em Kelvin, K).

Conforme Neto (Neto F. C., 2013), o volume que o gás ocupa em uma área deve ser calculado considerando uma concentração de 0,25 do LIE para fontes contínuas e primárias ou de 0,50 do LIE para fontes secundárias, por unidade de tempo.

Na Equação 4.1 é utilizado o para LIE_m em Kg/m^3 , entretanto na Tabela 4.1 das características do óleo diesel só se possui a informação do LIE_v em concentração volumétrica (%). Portanto deve ser realizada uma conversão que pode ser realizada através da Equação 4.2:

$$LIE_m = 0,416 \times 10^{-3} \times M \times LIE_v \quad (4.2)$$

Sendo M a massa molecular do material inflamável, em kg/mol. Portanto,

$$LIE_m = 0,416 \times 10^{-3} \times 184 \times 4$$

$$LIE_m = 0,306 \text{ kg/m}^3$$

Obteve-se então o LIE de $0,306 \text{ kg/m}^3$.

Utilizando a Equação 4.1, do cálculo da taxa mínima de vazão volumétrica de ar (m^3/s), e sabendo que a temperatura considerada é a do pior caso quando de valor aproximados 38°C e que a fonte de risco primária é de $k = 0,25$ o dv/dt pode agora ser calculado:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{min} = \frac{31,38 \times 10^3}{0,25 \times 0,306} \times \frac{38}{293}$$

Obtem-se:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{min} = 53,19 \times 10^{-3} \text{ m}^3/s$$

A relação entre o valor calculado $(dV/dt)_{min}$ e o volume real de ventilação existente dentro do volume considerado (V_0) é expressa com um volume (V_k). E pode ser calculado através da Equação 4.3 (Buffon, 2011).

$$V_k = \frac{\frac{dV}{dt}_{min}}{C} \quad (4.3)$$

Sendo C o número de renovações de ar por unidade de tempo (S^{-1}) e é calculado pela Equação 4.4

$$C = \frac{dV_0/dt}{V_0} \quad (4.4)$$

Onde dV_0/dt é a taxa total de vazão de ar através do volume sob consideração e V_0 é o volume da sala ou da edificação que está sendo considerada.

Como é necessário definir a taxa de vazão do ar esse procedimento será feito em conformidade com a norma BS-EN 50272-2 (2001) utilizando a Equação 4.5.

$$Q_{efetivo} = \frac{A}{28} \quad (4.5)$$

Onde $Q_{efetivo}$ (dV_0/dt) é vazão real do ar mecânica ou natural efetiva em m^3/h e A é a área livre em cm^2 .

Para que esses cálculos sejam feitos será necessário então conhecer a área livre. A sala onde se encontram o gerador e o tanque está localizada dentro do condomínio e separada das demais construções como foi visto na planta geral do condomínio, sendo que o acesso a sala se dá somente pelo lado externo da mesma, com uma porta de 2,1m de altura x 0.8m de largura. A sala do gerador e do tanque tem 7,2m (comprimento) x 5,4m (largura) x 3m (altura), ou seja, um volume total da sala de $116,64m^3$.

Sabendo que o tanque tem dimensões 2 m (altura) x 0,81 m (diâmetro), ou seja, possui um volume de aproximadamente $1,03m^3$ (ou aproximadamente 1000 litros), em uma pior situação (sala em sua capacidade total), o volume total da sala será de $116,64m^3 - 1,03m^3 = 115,61m^3$ (V_0).

Adotando-se como premissa que as portas são as únicas aberturas para ventilação, ao todo na sala onde se encontram o gerador e o tanque existem duas portas cada uma com área de $1,68m^2$. Portanto, a área total das aberturas para a ventilação é $3,36m^2$, logo a área total da ventilação natural na sala é de $33600 cm^2$. Portanto,

$$Q_{efetivo} = \frac{33600}{28}$$

$$Q_{efetivo} = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$$

Agora que a vazão é conhecida é possível calcular o número de renovações de ar por unidade de tempo.

$$C = \frac{1200}{115,61}$$

$$C = 10,37h^{-1} \text{ ou } 0,00288s^{-1}$$

Portanto, agora que o valor de C e dV/dt_{\min} são conhecidos é possível calcular V_k , como pode ser visto a seguir:

$$V_k = \frac{53,19 \times 10^{-3}}{0,00288}$$

$$V_k = 18,46 \text{ m}^3$$

A equação que determina V_k é válida somente para misturas que sejam homogêneas no local onde se encontra fonte de risco com condições ideais de vazão de ar. Todavia, ter condições ideais de vazão de ar é uma situação incomum, uma vez que pode haver obstrução da vazão e isso pode levar a existência de locais menos ventilados na área. Por esta razão, a troca de ar efetiva na fonte de risco é menor do que a dada por C . Assim, foi inserido um fator de correção f para adequar esta situação como pode ser visto na Equação 4.6 (Buffon, 2011).

$$V_z = f \times V_k = f \times \frac{dV}{dt_{\min}} \times C \quad (4.6)$$

Sendo:

f = eficiência da ventilação em termos de sua efetividade de diluir a atmosfera explosiva de gás, com f variando de $f = 1$ (situação ideal) até tipicamente $f = 5$ (vazão de ar impedida). Logo,

$$V_z = 5 \times 18,46$$

$$V_z = 92,3 \text{ m}^3$$

O tempo de persistência (t) requerido para uma concentração média cair de um valor inicial X_0 até o valor do limite inferior de explosividade da substância (LIE), depois que a liberação tenha cessado, pode ser estimado através da Equação 4.7. Isto levando em consideração que a concentração inicial da substância inflamável é considerada como 100%.

$$t = -\frac{f}{C} \times \ln \frac{LII \times k}{X_0} \quad (4.7)$$

Sendo,

X_0 = é a concentração inicial de uma substância inflamável medida na unidade de LII;

$$t = -\frac{5}{10,37} \times \ln \frac{4 \times 0,25}{100}$$

$$t = 2,22 \text{ h}$$

Através do cálculo do volume hipotético (V_z) foi possível comparar este volume com o V_0 e desta maneira determinar o grau de ventilação. Neste estudo de caso $V_z = 92,3 \text{ m}^3 < V_0 = 115,61 \text{ m}^3$, segundo a norma a classificação para $V_z < V_0$ é a classificação de ventilação média (VM).

A disponibilidade de ventilação nessa sala de acordo com o que é definido na norma é considerada pouco satisfatória, em virtude de os únicos meios de ventilação do ambiente em

questão serem as portas de acesso a sala. Não há garantia de ventilação contínua e esse fator pode ser um item a ser utilizado em futuros projetos para garantir que a área classificada seja diminuída.

4.2.6 Classificação

Fundamentado por todo o estudo realizado nesse capítulo, e a partir dos dados de grau da fonte risco, determinação da taxa de liberação de vapor e determinação do grau de ventilação elencadas abaixo.

- Ventilação

Tipo: Natural

Grau: Médio

Disponibilidade: Pouco satisfatória

- Fonte de Risco e Grau do Risco

Superfície do Líquido: Contínuo

Respiro: Primário

Porta de acesso: Secundário

- Produto

Ponto de Fulgor: Abaixo da temperatura de operação

Densidade de Vapor: Mais pesado que o ar.

Por fim de acordo com a norma IEC 60079-10 (ABNT, 2009), a classificação será realizada como mostra a Figura 4.6.

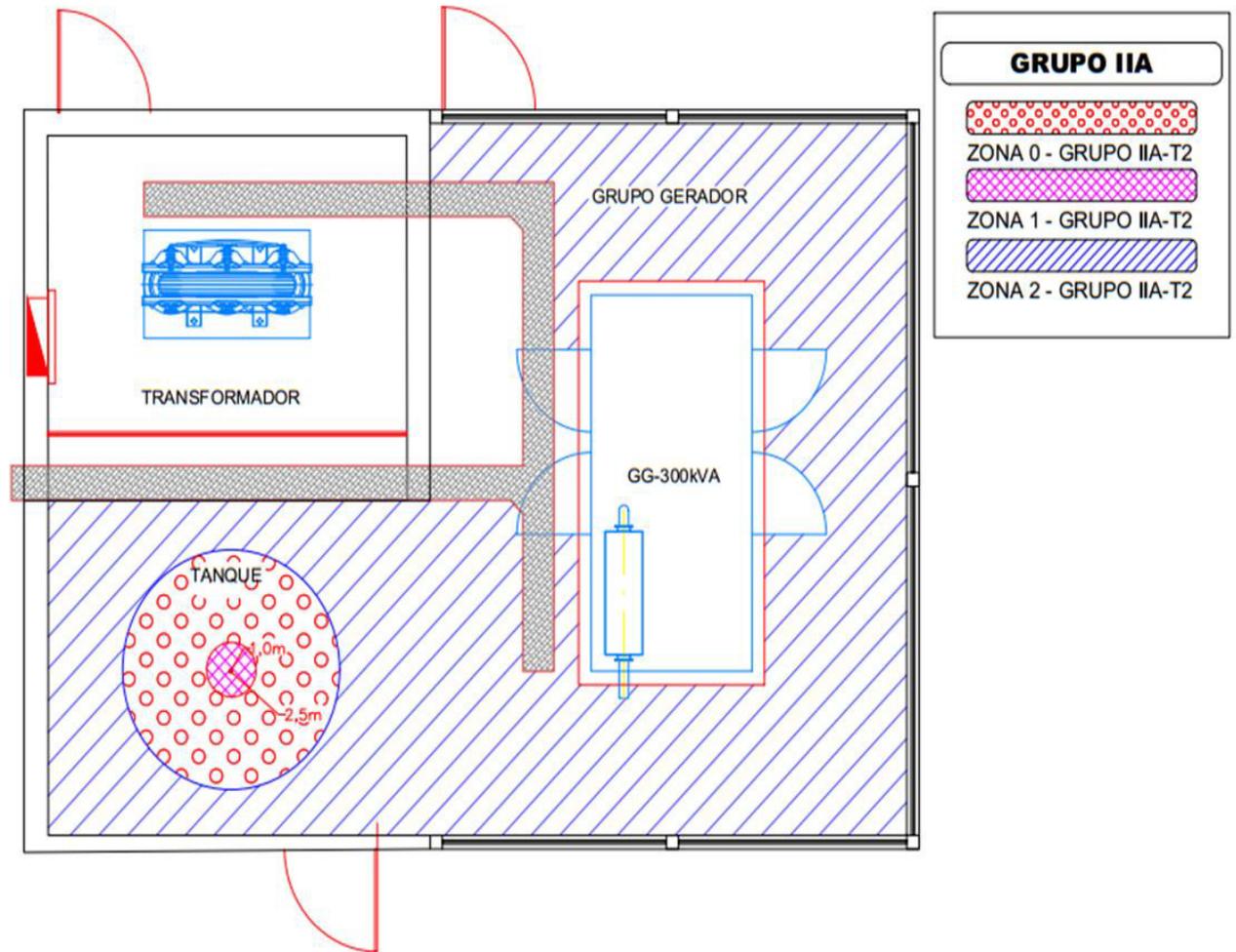


Figura 4.6 - Classificação da Área.

Fonte: Do autor.

Na Figura 4.6 é possível ver a planta da classificação da área que foi obtida a partir de todo o processo de classificação desenvolvido neste estudo de caso. Essa figura sintetiza todas as considerações que foram feitas acerca deste ambiente com presença de atmosfera explosiva. É possível ver que dentro do tanque, onde há uma presença contínua de vapores, a classificação é em uma zona 0, enquanto o respiro do tanque resulta em uma zona 1 e a sala onde está o gerador, recebe uma classificação de zona 2. A classe de temperatura e o grupo dos equipamentos é outra informação que está presente na Figura 4.6 e é essencial, pois a partir desse conhecimento serão escolhidos os equipamentos elétricos adequados para operar em um ambiente com atmosfera explosiva.

4.3 Especificação das Instalações

A classificação da área mostra claramente que os equipamentos elétricos estão inseridos na zona 2 e é necessário assegurar que a seleção, especificação e instalação dos equipamentos elétricos atendam às exigências desta área classificada. Durante a vida útil dos equipamentos, inspeções inicial e periódica devem ser realizadas para garantir a manutenção da integridade da instalação elétrica. Essas atividades devem ser executadas por profissionais qualificados (Neto F. C., 2013).

As documentações referentes à classificação de áreas, grupo dos equipamentos e classe de temperatura são necessárias para a realização de uma inspeção e manutenção de equipamentos em atmosferas explosivas e devem estar disponibilizadas e de fácil acesso, como recomendado na NBR 60079-0 (ABNT, 2006). Essas informações foram obtidas ao longo deste estudo de caso e compreendem desenho da planta, a extensão das áreas classificadas, detalhando as substâncias inflamáveis encontradas no processo com seu respectivo grupo de gases.

4.3.1 Grau de Proteção dos Equipamentos

Todo equipamento elétrico deve possuir uma proteção inerente, capaz de evitar, principalmente, danos físicos às pessoas (choques, ferimentos etc.) e danos ao próprio equipamento (a entrada de corpos estranhos em seu interior como, por exemplo, água). A denominação de grau de proteção não é específica para equipamentos elétricos de uso em atmosferas explosivas, mas serve como característica adicional aos tipos de proteção. Neste estudo de caso o grau de proteção adotado deve ser de no mínimo IP 62 na área classificada

4.3.2 Nível de Proteção dos Equipamentos

O nível de proteção de equipamento (EPL) é uma simbologia utilizada quando se refere à instalação em atmosferas explosivas. Este nível é baseado na probabilidade do

equipamento se tornar uma fonte de ignição, diferenciando entre os diferentes tipos de atmosfera explosiva (gás, poeira ou em minas suscetíveis ao grisú) (ABNT, 2006).

O Nível de Proteção de Equipamentos - “EPL” (Equipment Protection Level), é uma informação que foi recentemente incorporada na normalização brasileira, acompanhando as normas internacionais IEC, que indica o local adequado para instalação e o nível de proteção proporcionado pelos equipamentos “Ex”. A identificação de EPL consiste basicamente em duas letras, a primeira em maiúsculo e a segunda em minúsculo.

A primeira letra se refere ao local da instalação do equipamento “Ex”, sendo identificada como:

M (*Mining*): para instalação em minas subterrâneas;

G (*Gases*): para instalação onde a atmosfera explosiva possível de estar presente no local seja composta de gases ou vapores inflamáveis;

D (*Dusts*): para instalação onde a atmosfera explosiva possível de estar presente no local seja composta de poeiras combustíveis.

A segunda letra se refere ao nível de proteção proporcionado pelo equipamento “Ex”, sendo identificada como:

a: para nível de proteção muito alto, ou seja, dois meios independentes de proteção ou segurança, mesmo quando da ocorrência de duas falhas, independentemente uma da outra;

b: para nível de proteção alto, ou seja, adequado para operação normal e com distúrbios de ocorrência frequente ou equipamento onde falhas são normalmente levadas em consideração;

c: para nível de proteção elevado, ou seja, adequado para operação normal.

O EPL possibilita escolher o tipo de proteção adequada em relação a uma avaliação de risco levando em consideração zonas e não somente em função da classificação de áreas. A relação entre EPL e as zonas é dada pela Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Relação de Proteção do Equipamento (EPL).

Zona	Nível de Proteção do Equipamento (EPL)
0	Ga
1	Ga ou Gb
2	Ga, Gb ou Gc

Fonte: NBR 60079-14.

4.3.3 Tipo de Proteção

Como já foi visto neste trabalho, os equipamentos que podem ser utilizados em áreas classificadas são projetados para esta finalidade, pois suas características construtivas buscam eliminar pelo menos um dos fatores que levam a explosões, no caso a eliminação da ignição. Na Tabela 4.4 estão descritos os tipos de proteção associados aos níveis de proteção.

Tabela 4.4 - Relação entre os Tipos de Proteção e EPL.

EPL	Tipo de Proteção
Ga	Intrinsicamente seguro
	Encapsulamento
Gb	Invólucros à prova de explosão
	Segurança aumentada
	Intrinsecamente seguro
	Encapsulamento
	Imersão em óleo
	Invólucros pressurizados
	Imersão em areia
Gc	Intrinsecamente seguro
	Encapsulamento
	Invólucros pressurizados
	Equipamento centelhante
	Limitação de energia
	Respiração restrita
	Não acendível

Fonte: NBR 60079-14.

Neste trabalho os tipos de equipamentos que poderão ser utilizados na área classificada são os que possuem invólucros a prova de explosão.

4.3.4 Grupo de Equipamentos

Posteriormente a definição do tipo de proteção dos equipamentos para a zona de operação com seu respectivo EPL, a seleção deve obedecer aos critérios da Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Relação entre a subdivisão vapor e grupo do equipamento.

Subdivisão do Local do Vapor	Grupo de Equipamento Permitido
IIA	II, IIA, IIB ou IIC
IIB	II, IIB ou IIC
IIC	II ou IIC

Fonte: NBR 69074-14.

A subdivisão do vapor nesta classificação de área do presente trabalho é IIA, e o grupo de equipamentos permitido é esse correspondente na Tabela 4.5.

4.3.5 Sistemas de fiação

Todo o sistema de fiação deve estar de acordo com o que foi estabelecido na NBR 60079-14 (e nas demais normas que regulamentam as instalações elétricas), todas as especificações abaixo foram obtidas a partir da norma mencionada.

- **Condutores de alumínio**

Em instalações onde o alumínio é utilizado como material condutor, a seção condutora deve ser de pelo menos 16 mm². As conexões devem assegurar que as distâncias de isolamento e escoamento requeridas não serão reduzidas por meios adicionais que são requeridos para a conexão de condutores de alumínio. Essas distâncias podem ser obtidas pelo nível de tensão ou requisitos do tipo de proteção.

- **Cabos para fixação fixa**

Cabos para fixação fixa utilizados em áreas classificadas devem ser apropriados para as condições ambientes de serviço. Devem ser blindados com material termoplástico, termofixo ou elastomérico, ou possuir isolamento mineral com blindagem metálica, ou ainda serem especiais, como cabos-chatos com prensa-cabos apropriados.

- **Cabos flexíveis**

Cabos flexíveis podem ser especificados com os seguintes tipos de cobertura: de borracha comum; de policloroprene comum; de borracha reforçada; de policloroprene reforçado; ou com isolamento plástico com construção igualmente robusta, tais como os cabos com cobertura de borracha reforçada.

- **Conexão de cabos aos equipamentos**

A conexão de cabos aos equipamentos elétricos deve manter a integridade do tipo de proteção contra explosão aplicável. Quando o certificado do prensa-cabo possuir uma marcação "X", este prensa-cabo deve ser utilizado somente em instalações fixas. Se uma fixação adicional for requerida para evitar que as forças do puxamento e da torção do cabo sejam transmitidas para os terminais do condutor no interior do invólucro, uma fixação deve ser fornecida e instalada numa distância inferior a 300 mm a partir da extremidade do prensa-cabo.

É importante ressaltar que cabos unipolares sem cobertura não devem ser utilizados como condutores energizados em áreas classificadas com risco de explosão, a menos que eles sejam instalados dentro de painéis, invólucros ou sistemas de eletrodutos.

4.3.6 Sistema de Eletrodutos

Todos eletrodutos devem ser instalados com unidades seladoras, quando os mesmos adentram ou saem de uma área classificada. Isso é necessário para evitar a propagação de gases ou líquidos de uma área classificada para área não classificada. Não deve haver união ou outros acessórios de eletrodutos entre a unidade seladora e a fronteira da área classificada, na Figura 4.7 é mostrada uma unidade seladora.



Figura 4.7 - Unidade Seladora.

Fonte: Manual do Combustível (Costa, Silva, & Andrade, 2016).

Eletrodutos para conexão a invólucros ‘Ex d’ (Invólucros à prova de explosão) devem suportar a pressão de uma explosão. Deve ser também utilizada uma unidade seladora em todos os eletrodutos que chegam a invólucros à prova de explosão, contendo chaves, disjuntores, relés, fusíveis, resistores entre outros que possam produzir arcos, centelhas ou altas temperaturas. Entre a unidade seladora e o invólucro, podem ser instalados acessórios tipo união, luva e joelho, adequados ao invólucro à prova de explosão, e conduletes à prova de explosão. Contudo, os conduletes, mostrado na Figura 4.8, não podem ter tamanho nominal maior do que o tamanho nominal do eletroduto.



Figura 4.8 - Condutele à prova de explosão.

Fonte: Melflex.

4.4 Considerações Gerais

Como foi visto, as implicações advindas da classificação da área para torna-la segura são tecnicamente intensamente restritivas. Desde a impossibilidade do uso de determinados tipos de equipamentos, às especificações das instalações. Tais fatores podem encarecer significativamente o custo do projeto.

Neste trabalho, ao realizar a classificação da área, o gerador e todos os equipamentos que o compõe acabaram ficando dentro de um ambiente que é considerado área classificada e deveria se adequar a todas as exigências previstas aqui para equipamentos elétricos na área em questão. Este fato por si só poderia inviabilizar a confiabilidade de 4 horas que seria obtida a partir da instalação do tanque, por isso é tão importante realizar o estudo para que seja possível procurar soluções que desclassifiquem a área.

Neste caso, para que todos os custos e transtornos advindos da classificação de área possam vir a ser evitados ainda na fase de projeto, sugere-se que se construa uma parede que isole o tanque do gerador, como pode ser visto na Figura 4.9, e que a única conexão entre ambos seja uma tubulação de passagem de combustível, que economicamente poderá vir a ser mais atrativo do que adequar as instalações do gerador aos requisitos de uma área classificada.

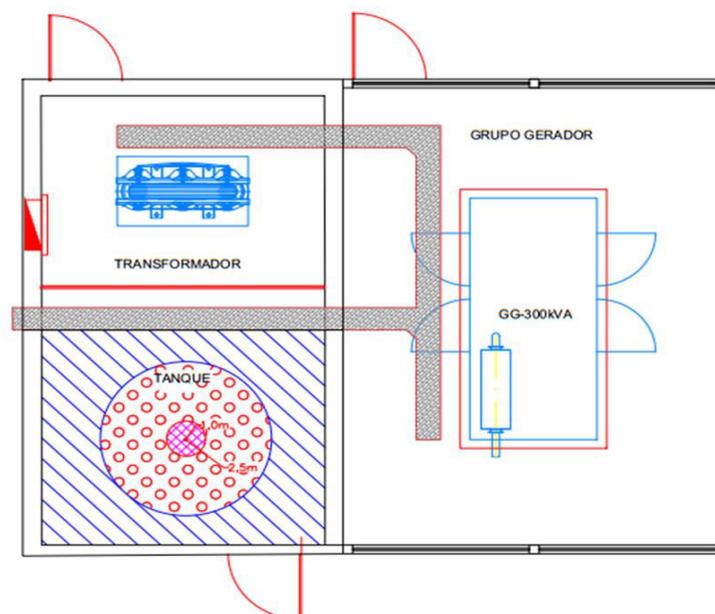


Figura 4.9 - Proposta de Desclassificação.

Fonte: Do autor.

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho buscou-se apresentar os principais conceitos e normas relacionados ao tema de instalações elétricas em atmosferas explosivas. No capítulo 2 foram elencados alguns conceitos iniciais, tais como a definição de energia de ignição e as condições favoráveis à ocorrência do fenômeno de explosão. No capítulo 3 foi apresentado o arcabouço normativo e, por fim, no capítulo 4 foi apresentado um estudo de caso.

Entende-se que o tema abordado ainda é pouco explorado por profissionais do setor elétrico, e quando o é, tem o foco geralmente nas condições de segurança do trabalho. Neste sentido, esse trabalho vem propor uma conexão entre o tema das atmosferas explosivas e o ambiente da engenharia de eletricidade. Tentou-se seguir esses princípios ao elaborar esse trabalho. Entende-se que pode ter sido uma abordagem ousada e diferente, mas relativamente original para o setor da energia elétrica. Reconhece-se, entretanto, que é ainda longo o caminho a ser percorrido.

O estudo de caso apresentado tratou de uma planta residencial (um conjunto de casas) suprida por um gerador instalado dentro da própria área do condomínio. Para ter uma autonomia de algumas horas foi proposto a instalação de um tanque gerador. A presença de combustível armazenado fez com que uma região fosse classificada como de alto risco de explosão. Ao tratar do problema, foi descrito com detalhes todo o procedimento para classificar a área, contextualizado pela citação aos instrumentos normativos que regulam as instalações nesse tipo de ambiente.

5.1 Propostas de Trabalhos Futuros

Como não poderia ser diferente, apesar de todo o empenho dedicado à elaboração deste trabalho, não foi possível abordar em total plenitude todos os pontos discutidos. Desta forma, como propostas de trabalhos futuros, propõe-se:

- Aplicação do método de classificação de áreas em um ambiente real.
- Explorar o risco de ignição (e explosão), propondo métodos e ferramentas para avaliá-los numericamente (Algoritmo para classificação de áreas).
- Explorar o projeto dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas no âmbito de instalações elétricas em ambientes classificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2004). *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2006). *NBR IEC 60079-0 - Equipamentos Elétricos para atmosferas explosivas - Parte 0: Requisitos gerais*.
- ABNT. (2007). *NBR IEC 60079-14: Instalações elétricas em áreas classificadas*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT. (2009). *NBR IEC 60079-10: Atmosfera Explosiva - Classificação de Áreas*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2013). *NBR IEC 60079-11: Proteção de equipamento por segurança intrínseca “i”*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT. (2014). *NBR 9518: Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ABNT. (2014). *NBR 5410: Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ABNT. (2014). *NR 20: Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ABNT. (2016). *NBR IEC 60079-1: Proteção de equipamento por invólucro à prova de explosão tipo “d”*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ABNT. (2016). *NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Amaral, A. B. (2015). *Estudo de Classificação de Áreas em uma Sala de Carregamento de Baterias*. Curitiba: Monografia de Especialização - UTFPR.
- Buffon, L. (2011). *Estudo de Adequação de uma Área Classificada à Norma Vigente*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Costa, J. B., Silva, T. F., & Andrade, V. E. (2016). *Manual Gestão do Combustível - EFC*. São Luís: Vale.
- Creder, H. (2008). *Instalações Elétricas* (15ª Edição ed.). (LTC, Ed.) Rio de Janeiro.
- Filho, M. (2001). *Instalações Elétricas Industriais* (6ª Edição ed.). Rio de Janeiro, Brasil: LTC.
- Grupo Equatorial, C. C. (2014). *Norma Técnica NT.31.004: Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações de Múltiplas Unidades Consumidoras*.
- IFSC. (2010). Capacitância e Capacitores. Em L. d. Magnetismo (Ed.). São Carlos, SP, Brasil.
- Instituto de Física de São Carlos. (25 de Maio de 2010). Capacitores e Capacitância. São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Lopez, N. M. (2010). *Manual de Bolso de Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas*. São Paulo: ABPEX - Associação Brasileira para Prevenções de Explosões.
- Miranda, J. D. (2002). *Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo: Atmosferas explosivas* (3ª edição ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark.
- NBR-8370. (s.d.). *Instalações e Equipamentos para Atmosferas Explosivas*. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Neto, F. C. (2013). *Seleção de Motores Elétricos para Áreas Classificadas em uma Unidade de Produção de Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Neto, L. R., & Soares, L. F. (2010). *Instalações Elétricas em Áreas Classificadas Elaboração da Lista de Verificação para Laboratórios em Áreas Classificadas*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Oliveira, A. L. (1999). *Fundamento e Princípios de Segurança Intrínseca*. Vitória: SENAI.
- Otsuka, A. H. (2011). *Análise Quantitativa da Extensão de Áreas Classificadas*. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe.
- Portal Eletricista. (s.d.). Acesso em maio de 2017, disponível em <http://www.portaleletricista.com.br/aterramento-eletrico/>

Santini. (2017). *Armazenamento de óleo Diesel em Tanques*. Acesso em Junho de 2017, disponível em <http://www.petroblog.com.br/wp-content/uploads/Armazenamento-%C3%B3leo-diesel-em-tanques1.pdf>

Svacina, B., & Larson, B. (2011). *Intrinsic Safety*. Minneapolis: Turck Ink.

APÊNDICE A – PLANTAS DO ESTUDO DE CASO

Neste Apêndice serão encontradas as seguintes plantas:

Planta de Classificação da Área;

Planta Baixa do Condomínio;

Diagrama Unifilar do condomínio;

Quadro de Cargas do Condomínio;

Esquema Unifilar da Casa 1;

Esquema Unifilar da Casa 2;

Esquema Unifilar da Casa 3;

Esquema Unifilar da Casa 4;

Esquema Unifilar da Área comum.

GRUPO IIA



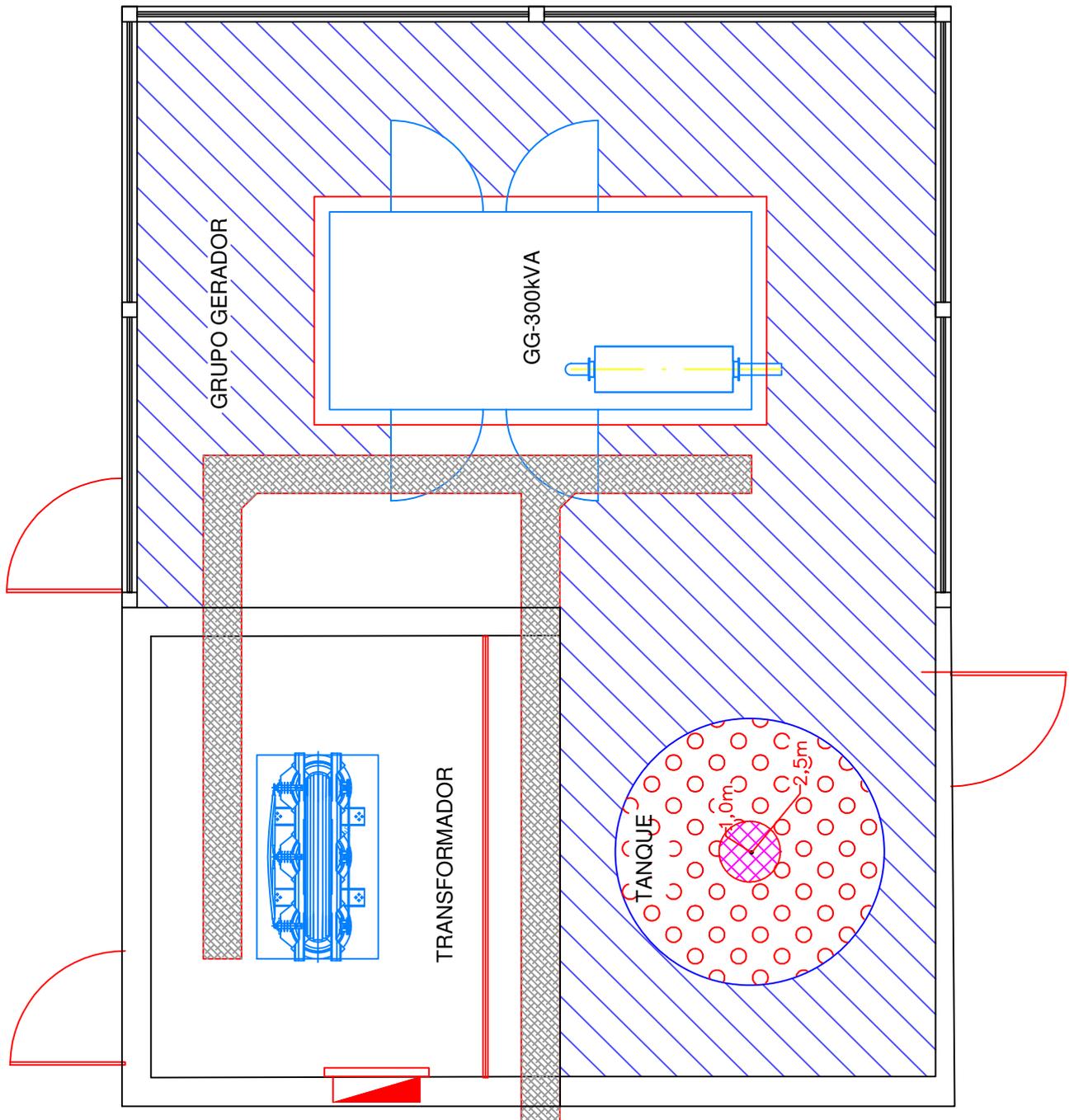
ZONA 0 - GRUPO IIA-T2



ZONA 1 - GRUPO IIA-T2



ZONA 2 - GRUPO IIA-T2



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

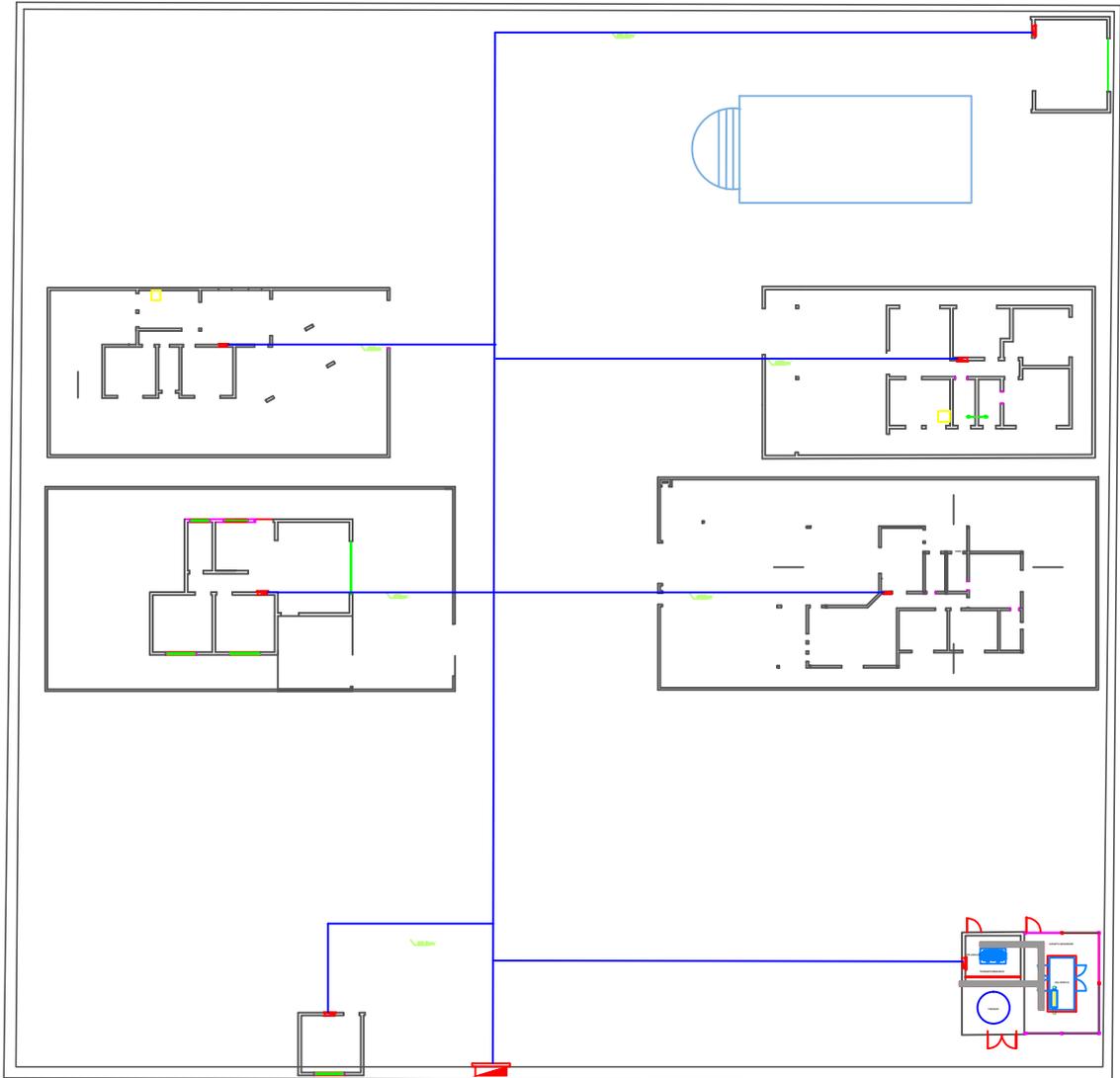
Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA

Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:100



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

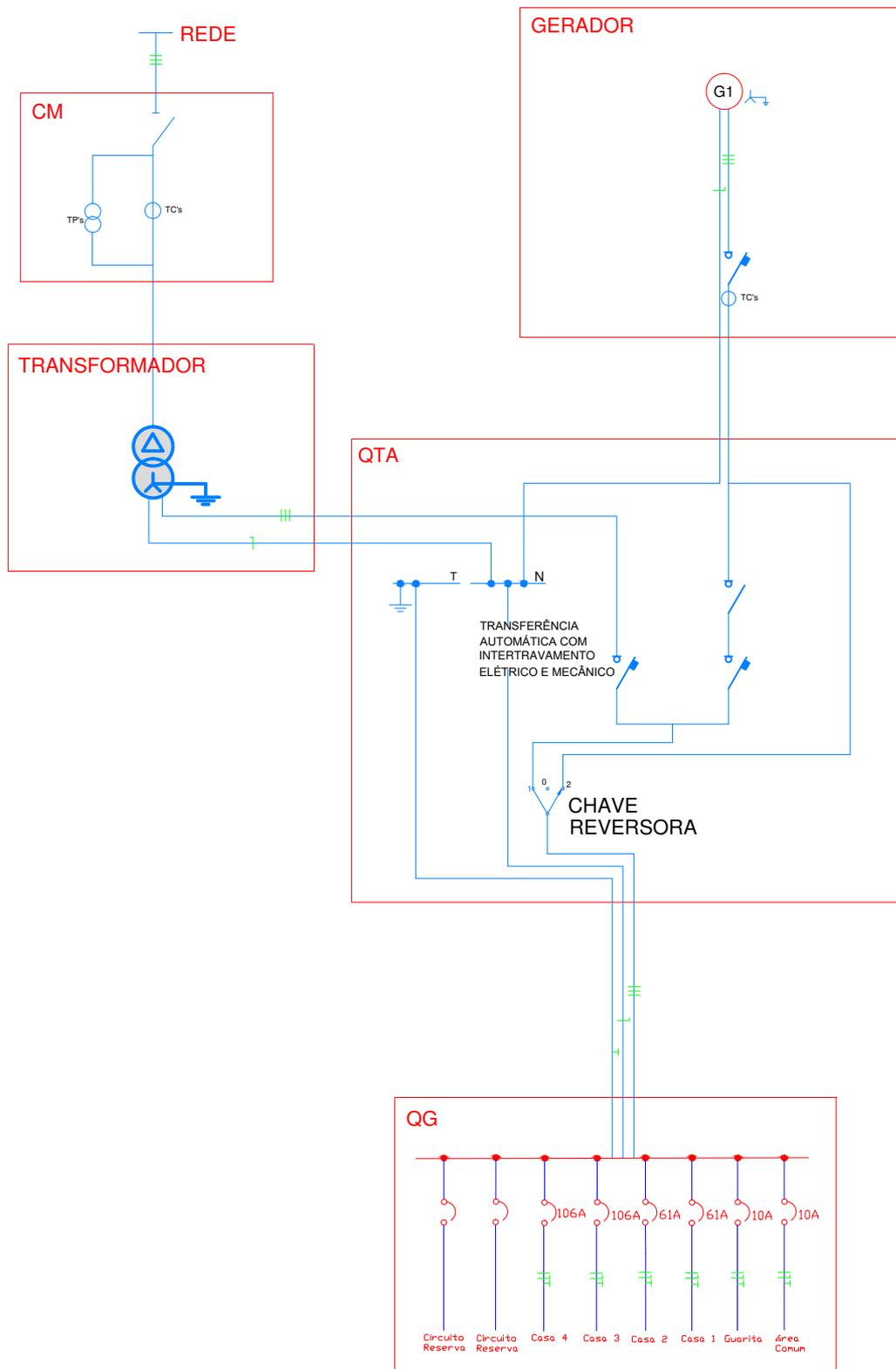
Responsável: VITTÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: PLANTA BAIXA DO CONDOMÍNIO

Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:100



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

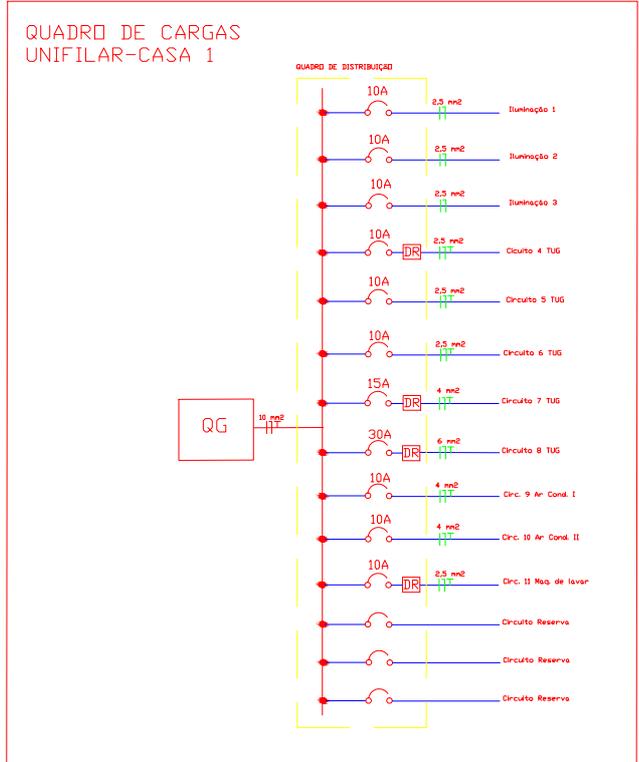
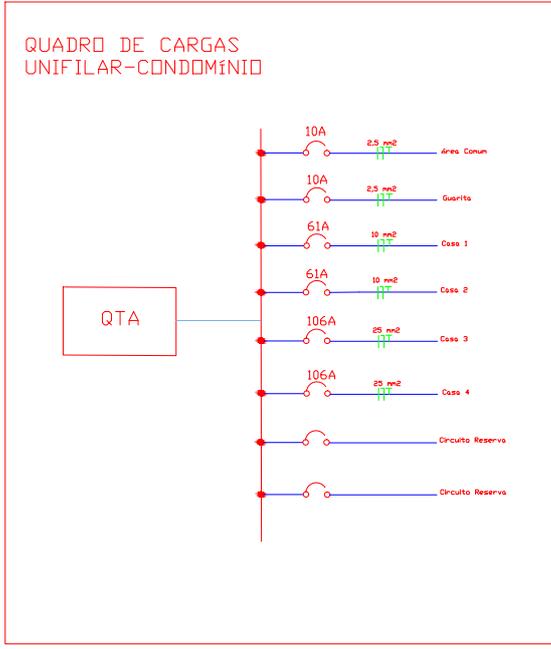
Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: DIAGRAMA UNIFILAR DO CONDOMÍNIO

Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:100



QUADRO DE CARGAS-CASA 1

Nº Circuito	Tensão	Especificação	ILU		TUG		TUE		Seção Mínima dos Condutores		
			Pot (Va)	Numera Pontos	Pot (Va)	Especificação	Pot (Va)	F mm	N mm ²	T mm ²	
1	220	ILUMINACAO I	480	7					2,5	2,5	
2	220	ILUMINACAO II	200	2					2,5	2,5	
3	220	ILUMINACAO III	300	3					2,5	2,5	
4	220	TUG I		9	900				2,5	2,5	2,5
5	220	TUG II		5	2500				2,5	2,5	2,5
6	220	TUG III		7	1200				2,5	2,5	2,5
7	220	Cozinha		2		Gel&Micro	1700		4	4	4
8	220	Banheiro		1		Chuveiro	5600		6	6	6
9	220	Quarto I		1		Ar Cond. I	1200		4	4	4
10	220	Quarto II		1		Ar Cond. II	1200		4	4	4
11	220	Área de Serviço		1		Máquina	500		2,5	2,5	2,5

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

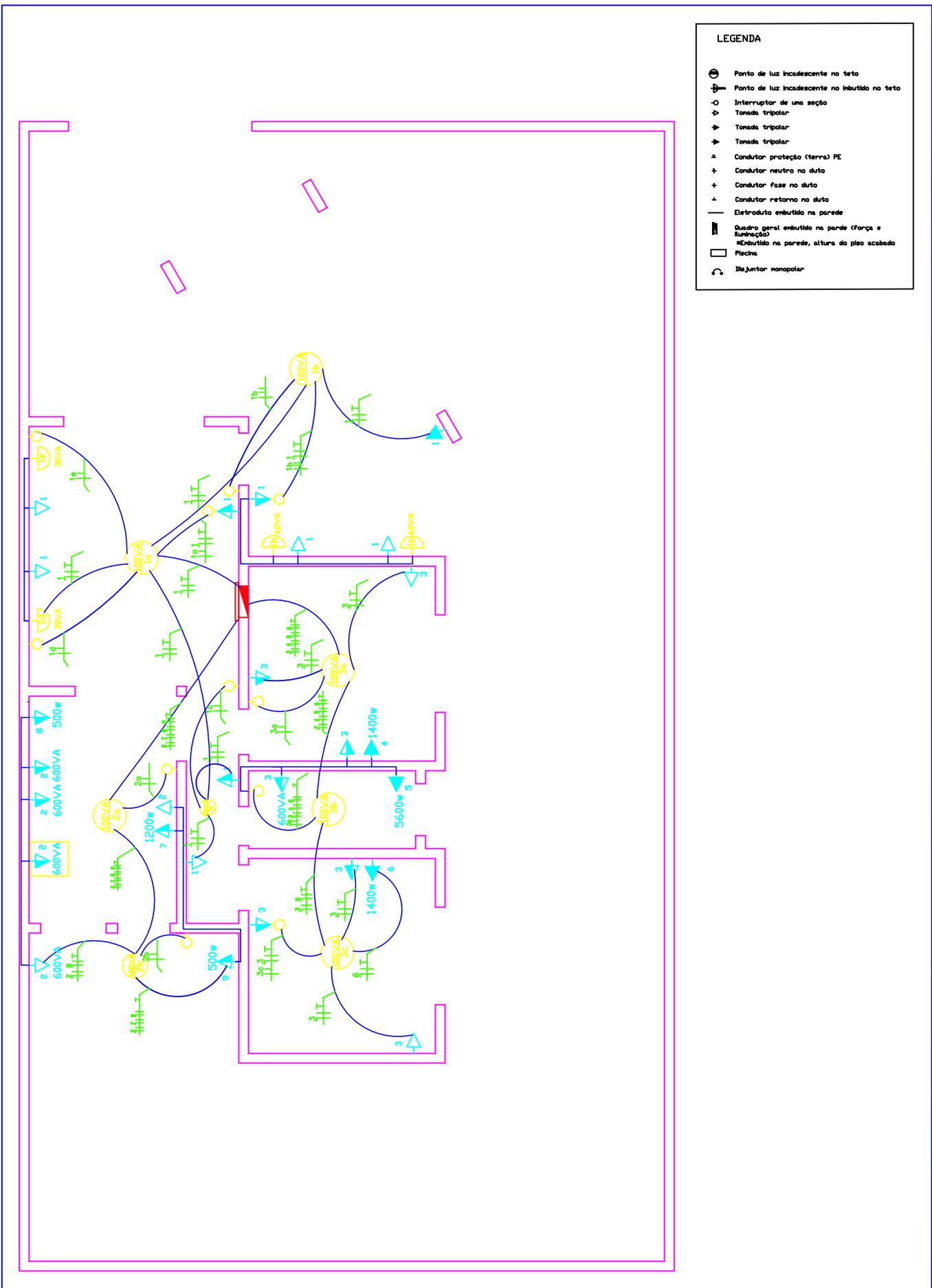
Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: DIAGRAMA UNIFILAR DA CASA 1, QUADRO DE CARGAS

Revisão Nº:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:1



LEGENDA	
	Ponto de luz incandescente no teto
	Ponto de luz incandescente no rebordo no teto
	Interruptor de uma seção
	Tonada tripolar
	Tonada tripolar
	Tonada tripolar
	Condutor proteção (terra) PE
	Condutor neutro no duto
	Condutor fase no duto
	Condutor retorno no duto
	Eletroduto embutido na parede
	Quadro geral embutido na parede (força e iluminação)
	Embutido na parede, altura do piso acabado
	Placa
	Desjuntor monopolar

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: ESQUEMA UNIFILAR CASA 2

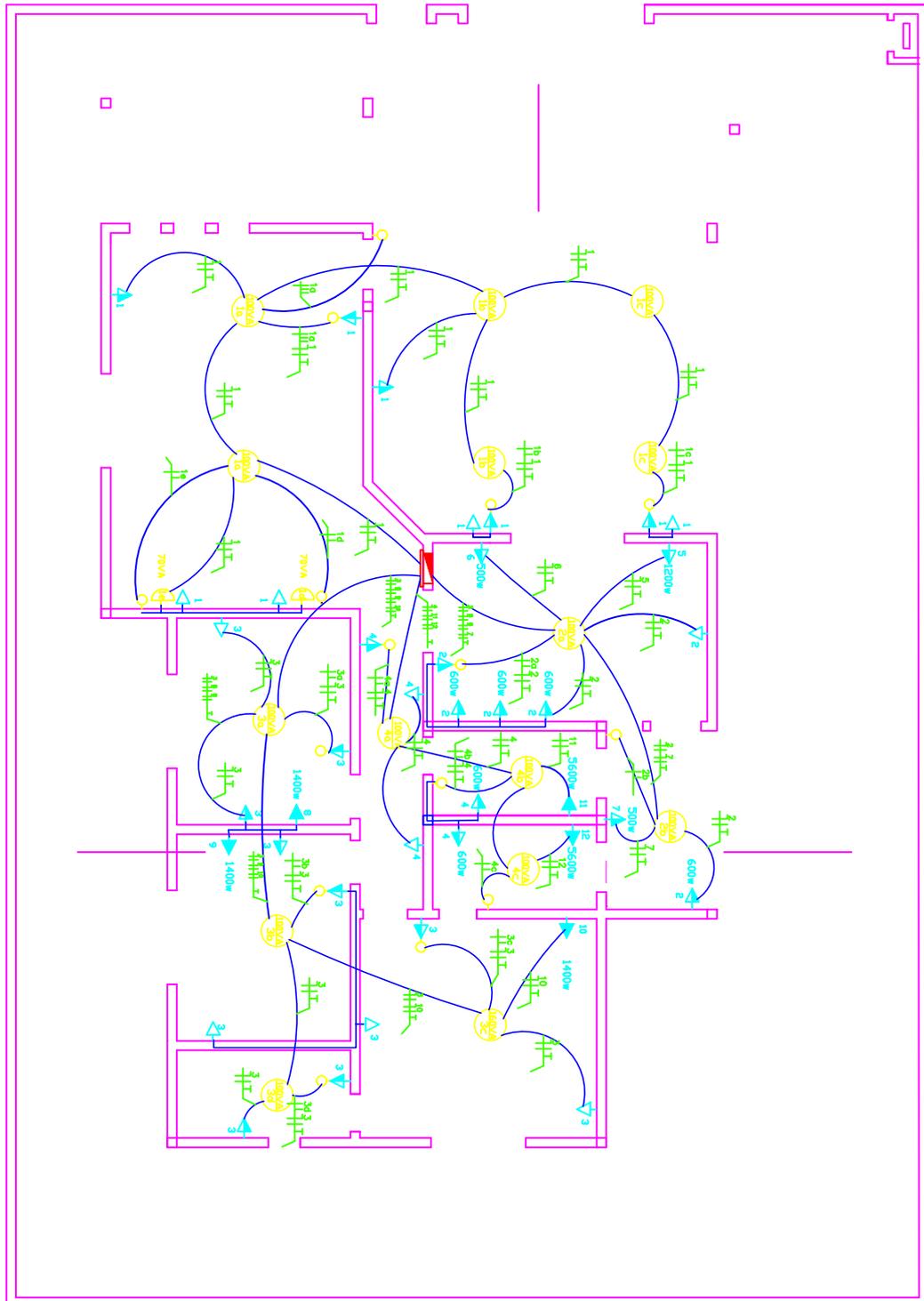
Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:50

LEGENDA

- Ponto de luz incandescente no teto
- Ponto de luz incandescente no abajurizado no teto
- Interruptor de uma seção
- ▷ Tomada tripolar
- ▷ Tomada tripolar
- △ Condutor proteção (terra) PE
- + Condutor neutro no duto
- + Condutor fase no duto
- Condutor retorno no duto
- Eletroduto embutido na parede
- Caixa geral embutida na parede (força e furação)
- Embutido na parede, altura do piso acabado
- Fiação
- Rejuntor monopolar



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: ESQUEMA UNIFILAR CASA 2

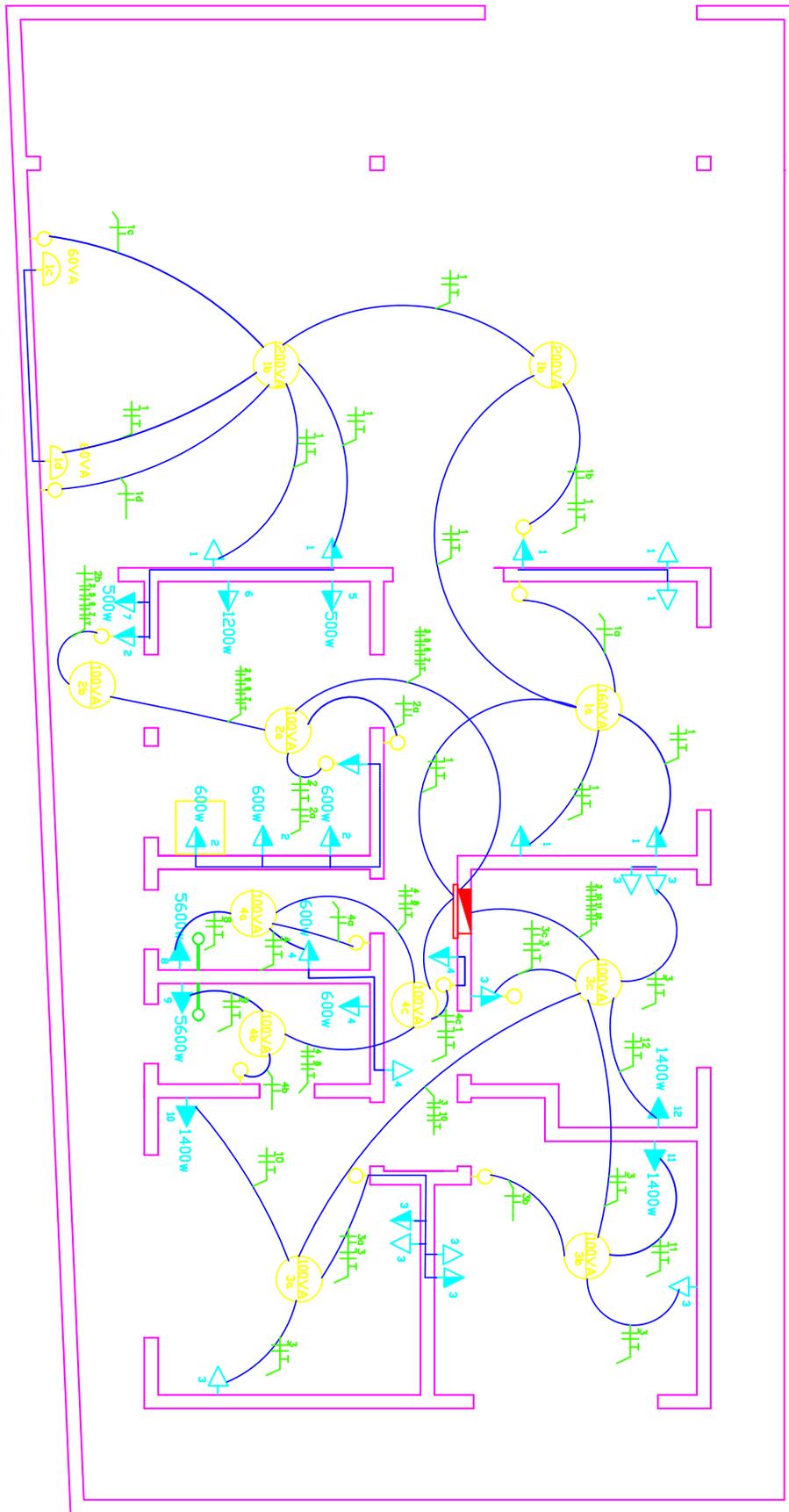
Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:100

LEGENDA

- ⊙ Ponto de luz incandescente no teto
- ⊙ Ponto de luz incandescente no rebitado no teto
- Interruptor de uma seção
- ▷ Tomada tripolar
- ▷ Tomada tripolar
- ▷ Tomada tripolar
- ≡ Conductor proteção (terra) PE
- + Conductor neutro no duto
- + Conductor fase no duto
- + Conductor retorno no duto
- Eletroduto embutido na parede
- ▬ Quadro geral embutido na parede (força e iluminação)
- ▬ Embutido na parede, altura do piso acabado
- Placina
- ⊕ Ilustrador monopolar



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: ESQUEMA UNIFILAR CASA 4

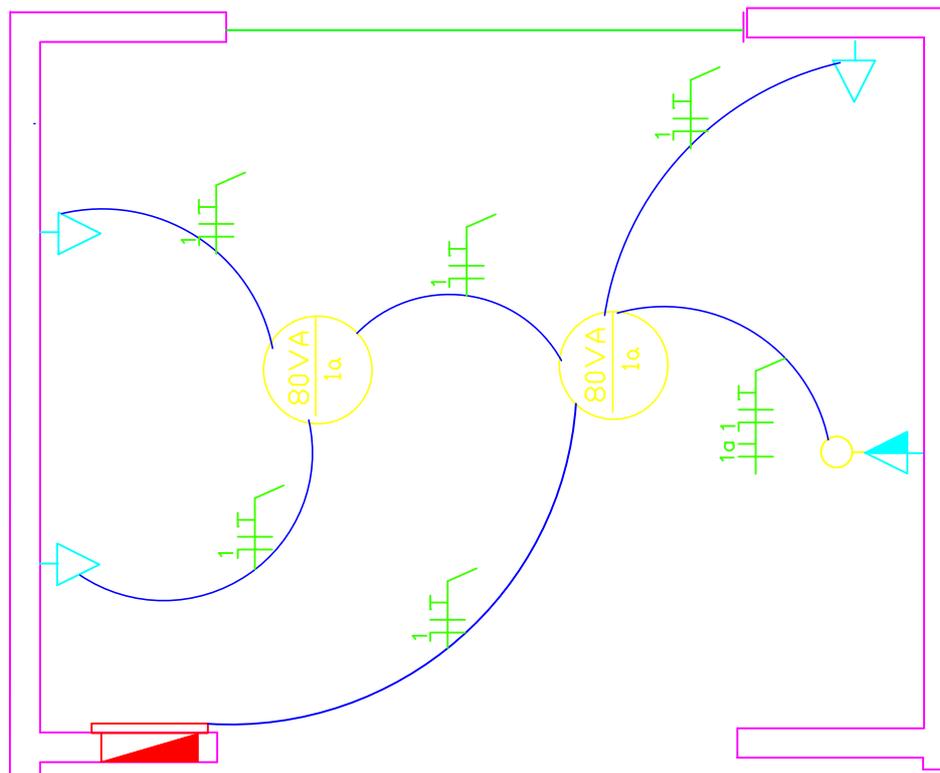
Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:50

LEGENDA

-  Ponto de luz incandescente no teto
-  Ponto de luz incandescente no imbutido no teto
-  Interruptor de uma seção
-  Tomada tripolar
-  Tomada tripolar
-  Tomada tripolar
-  Condutor proteção (terra) PE
-  Condutor neutro no duto
-  Condutor fase no duto
-  Condutor retorno no duto
-  Eletroduto embutido na parede
-  Quadro geral embutido na parede (força e iluminação)
-  *Embutido na parede, altura do piso acabado
-  Piscina
-  Disjuntor monopolar



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO-UFMA

Título: PROJETO ELÉTRICO DE CONDOMÍNIO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Responsável: VITÓRIA EMANUELLA MARTINS SOARES DE ANDRADE

Assunto: ESQUEMA UNIFILAR ÁREA COMUM

Revisão N°:

Data: 08/06/2017

Escala: 1:20