



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DA
FACULDADE DO GAMA - FGA**

**Autor: Clóves Junior da Fonseca
Orientador: Prof. Dr. Ronni Amorim**

**Brasília, DF
2017**



Clóves Junior da Fonseca

Usinas Nucleares: Análise Exploratória, Concepção, Aplicação e Análise Quantitativa de Dados de uma Pesquisa de Conhecimento à Respeito das Tecnologias Nucleares na Comunidade Discente da UnB-FGA Gama.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Fonseca Jr., Clóves.

Usinas Nucleares: Análise Exploratória, Concepção, Aplicação e Análise Quantitativa de Dados de uma Pesquisa de Conhecimento à Respeito das Tecnologias Nucleares na Comunidade Discente da UnB-FGA Gama / Clóves Junior da Fonseca. Brasília: UnB, 2017. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Prof. Dr. Ronni
Geraldo Gomes de Amorim.

1. Usinas. 2. Nucleares. 3. Pesquisa. 4. Opinião I. Amorim,
Ronni. II. Doutor.

CDU Classificação



REGULAMENTO E NORMA PARA REDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE PROJETOS DE GRADUAÇÃO FACULDADE DO GAMA - FGA

Clóves Júnior da Fonseca

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação dd/mm/aa) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Ronni Amorim, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr. Augusto Brasil, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr. Jorge Cormane, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

Esse trabalho é dedicado a todos aqueles que para crescer abrem mão de tudo aquilo dito indispensável pela sociedade.

AGRADECIMENTOS

Aqui, meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram não só com a elaboração do trabalho final mais como com meu crescimento como discente. Primeiro agradeço ao Pai de todos nós que nos deu o dom da vida, da escolha e da ciência. Segundo, ao pilar do meu viver, à minha família em especial a meus pais, que apesar de todas as dificuldades da vida sempre me incentivaram e apoiaram a trilhar os caminhos da ciência, mesmo que para isso abrissem mão daquilo que mais prezam, a presença de nós filhos. À minha irmã Marcília e a meu irmão Márcio que no decorrer da vida acadêmica foram meu porto seguro, de forma especial. Agradeço ao professor Dr. Ronni G. G. de Amorim pela oportunidade de prospecção de conhecimento na área científica a qual dedicarei minha vida. À minha amiga Ludmila evangelista, que se lembrou de mim no momento em que todos desacreditavam. Aos meus amigos, Bruno Baldini, Neto Moura, Rodolfo Sprenger, Felipe Thiago. Agradeço também a meus sobrinhos Thiago e Matheus Barbosa e Marcelo Santos. Por fim, aos professores Lindomar Carvalho, Taís Toguenetti e Maura Shzu que com seus punhos de ferro me ajudaram a definir meu perfil de discente levando ao crescimento na vida acadêmica.

“Desistam de me fazer desistir.”Masashi
Kishimoto.

RESUMO

Neste trabalho é feita uma revisão bibliográfica histórica, teórica e exploratória sobre as tecnologias nucleares, com foco nos reatores nucleares de potência. Apresentando uma breve análise do histórico de desenvolvimento das usinas nucleares, como fontes de eletricidade e outras aplicações que não as estratégicas. Uma explanação sobre os principais tipos de reatores nucleares de potência, sua distribuição no globo e seus respectivos dispositivos de segurança. Uma mostra das principais aplicações pacíficas da energia nuclear. É apresentada uma análise de pesquisas de opiniões realizadas sobre as tecnologias nucleares. Uma análise quantitativa de dados obtidos com um estudo de caso, o estudo da percepção da comunidade discente de engenharia na Universidade de Brasília na Faculdade de Engenharia do Gama, no que tange as tecnologias nucleares, com especificidade a energia nuclear e o cruzamento das informações levantadas com os de outras pesquisas já realizadas. E, com os resultados dessa análise são feitas conclusões prévias sobre o perfil de posicionamento desta mostra populacional quanto às tecnologias nucleares e citada perspectiva de solução ao problema da rejeição à energia nuclear pela populacional.

Palavras-chave: Energia Nuclear; Tipos de Reatores; Segurança de Reatores; Benefícios da Energia Nuclear; Visão de Acadêmicos.

ABSTRACT

This paper reviews a historical, theoretical and exploratory literature on nuclear technologies, focusing on nuclear power reactors. It presents a brief analysis of the development history of nuclear power plants, such as sources of electricity and other applications than strategic ones. An explanation of the main types of nuclear power reactors, their distribution around the world and their respective safety devices. A sample of the main peaceful applications of nuclear energy. An analysis of opinion polls on nuclear technologies is presented. A quantitative analysis of data obtained with a case study, the study of the perception of the engineering student community at the University of Brasília at the Faculty of Engineering of Gama, regarding nuclear technologies, with specificity of nuclear energy and the crossing of the information collected With those of other research already done. And, with the results of this analysis, previous conclusions are made about the positioning profile of this populational sample regarding nuclear technologies and cited perspective of solution to the problem of rejection to nuclear energy by the population.

Keywords: Nuclear Energy; Types of Reactors; Power Reactors Security; Vision of Academics;

LISTA DE SIGLAS

- AIEA- Agencia Internacional de Energia Atômica;
- BWR- *Boiling Water Reactor*- Reator a Água Fervente;
- EC- *European Commission*- Comissão Europeia;
- CNEN- Comissão Nacional de Energia Nuclear;
- EUA- Estados Unidos da América;
- FGV- Fundação Getúlio Vargas;
- IEN- Instituto de Engenharia Nuclear;
- IPEN- Instituto de Pesquisas em Energia Nuclear;
- ITER- *International Thermonuclear Experimental Reactor*- Reator Experimental Termonuclear;
- MCT- Ministério de Ciências e Tecnologias;
- MME- Ministério de Minas e Energia;
- ONU- Organização das Nações Unidas;
- PNB- Programa Nuclear Brasileiro;
- PWR- *Pressurized Water Reactor*- Reator a Água Pressurizada;
- PHWR- *Pressurized Heavy Water Reactor*- Reator a Água Pesada Pressurizada;
- RL- Regressão Logística;
- UnB- Universidade de Brasília;
- FGA Faculdade de Engenharias do Gama- UnB;
- OECD- *Organisation for Economic Co-operation and Development*- OCDE- Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Reação de fissão em cadeia.

Figura 2: Exemplo de elementos combustíveis reator CGR à esquerda e PWR à direita.

Figura 3: Esquemático dos principais tipos de reatores.

Figura 4: Reator a Água Pressurizada- PWR- Pressurized Water Reactor.

Figura 5: Reator a Água Fervente - BWR- Boiling Water Reactor.

Figura 6: Reator RBMK. Reator Água pressurizada com canaletas individuais de combustível. O Utilizado em Chernobyl.

Figura 7: Exemplo de Reator de IV Geração.

Figura 8: Esquema de usinas que utilizam reatores nucleares do tipo PWR.

Figura 9: Sistemas de proteção de um PWR.

Figura 10: Esquema de um sistema de refrigeração dos PWR's.

Figura 11: Esquema do sistema de refrigeração de emergência de um PWR.

Figura 12: Sistema de alimentação de um BWR.

Figura 13: Componentes de um BWR.

Figura 14: Esquemático de um PHWR.

Figura 15: Sistema de Refrigeração e de Contenção de um PHWR. Respectivamente.

Figura 16: Exemplos de reatores de Geração IV.

Imagem 1: Exemplos de Usinas Geração III + e Dispositivos Passivos de Segurança.

Imagem 2: Imagem resumo de exemplificação e características de Reatores a Fusão Nuclear.

Gráfico 1: Principais Tipos de Reatores de Potência em Utilização.

Gráfico 2: Percentual participativo das diferentes fontes de energia no Brasil.

Gráfico 3: Distribuição Global dos Reatores de Potência.

Gráfico 4: Opinião sobre a segurança de operação de Usinas Nucleares.

Tabela 1: Principais Combinações entre Moderador e Refrigerante.

Tabela 2: Tipos de Reatores e seus respectivos constituintes.

Tabela 3: População discente da FGA do primeiro semestre de 2017.

Tabela 4: Amostra estratificada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.0 Introdução	11
1.1 Objetivos	12
1.2 Objetivo Geral.....	12
1.3 Objetivos Específicos	12
2. TIPO DE REATORES E CONTROLE DE SEGURANÇA.....	14
2.1 Breve Histórico da Usinas Nucleares	14
2.2 Abordagem aos Princípios Teóricos Envolvidos na Reação de Fissão.....	15
2.2.1 Componentes básicos de um reator	16
2.3 Tipos de Reatores e Seus Respectiveos Sistemas.....	18
2.3.1Tipos de reatores.....	18
2.3.2 Tipos de reatores e seus dispositivos de segurança	23
3. BENEFÍCIOS DA ENERGIA NUCLEAR	38
3.1 Benefícios da Energia Nuclear	38
3.2 A Percepção Pública Quanto à Energia Nuclear.....	41
4. REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	46
5. METODOLOGIA.....	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1 Análises das Questões 01 dos Cursos.....	51
6.2 Análises das Questões 02 dos Cursos.....	53
6.3 Análises das Questões 03 dos Cursos.....	56
6.4 Análises das Questões 04 dos Cursos.....	57
6.5 Análises das Questões 05 dos Cursos.....	59
6.6 Análises das Questões 06 dos Cursos.....	60
6.7 Análises das Questões 07 dos Cursos.....	61
6.8 Análises das Questões 08 dos Cursos.....	63
6.9 Análises das Questões 09 dos Cursos.....	64
6.10 Análises das Questões 10 dos Cursos.....	65
6.11 Análises das Questões 11 dos Cursos.....	66

6.12 Análises das Questões 12 dos Cursos.....	68
6.13 Análises das Questões 13 dos Cursos.....	69
6.14 Análises das Questões 14 dos Cursos.....	71
6.15 Análises das Questões 15 dos Cursos.....	72
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
9. APÊNDICES.....	80
10. ANEXOS	83

1. INTRODUÇÃO

1. Introdução

Os desenvolvimentos humano e econômico estão intimamente ligados à disposição de recursos energéticos. Quando o setor elétrico se desenvolve paralelamente o produto interno bruto de um país bem como seu índice de desenvolvimento humano também se desenvolve. A simultaneidade entre a disposição energética e o PIB pode ser verificada na tabela 11 do Plano Nacional de Energia de 2030. (MME, 2007: 246).

Tabela 11 - Evolução da intensidade energética total

	1970	1980	1990	2000	2005
Consumo Final Energético ¹ (milhões de tep)	59,1	92,8	105,5	144,8	165,0
PIB (US\$ bilhões de 2005)	205,6	470,6	550,2	714,6	796,3
Intensidade Energética (tep/US\$ mil de 2005)	0,287	0,197	0,192	0,203	0,207

Fonte: Adaptado MME, 2007: 246.

Atualmente a matriz energética mundial é composta por: 59.5% de combustíveis de combustão; 18.1% energia nuclear; 14.0% energia hidráulica e 8.4% geotérmica, eólica, solar e outras. (IEA, 2016:1). Já no Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas(EPE, 2016:16), a matriz energética brasileira é composta por: 64.0% hidráulica; 12.9% gás natural; 8.0% biomassa; 4.8% derivados do petróleo; 4.5% carvão e derivados; 3.5% eólica; 2.4% nuclear e 0.01% solar.

A demanda por eletricidade no Brasil irá 600TWh, em 2016, a mais de 1000TWh, em 2030. Sendo que dentre as principais fontes a previsão de aumento da demanda de 2016 a 2030 pelo fornecimento destas fontes será de: 363TWh→+800TWh, para a energia hidráulica; $25 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano} \rightarrow +60 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ de gás natural; $200 \times 10^6 \text{ ton.} \rightarrow 350 \times 10^6 \text{ ton.}$ de bagaço de cana e de 60 ton. → 160ton. de urânio, para as usinas termonucleares.(MME, 2007: 350, 351, 362 e 363).

O Brasil possui a 5º maior reserva provada de urânio do mundo, bem como domina todo o processo de extração e enriquecimento do urânio. Com isso, e tendo em vista a crise hídrica vivida atualmente, os impactos ambientais da utilização do gás natural e derivados do petróleo na geração de energia e a inconsistência das fontes renováveis de eletricidade, biomassa, eólica e solar, resta a opção pelas

usinas nucleares como fonte substituta e equivalente às demais fontes para um cenário energético futuro do Brasil.

Além da produção de energia elétrica, uma indústria nuclear produz outros bens e serviços de alto valor agregado, com aplicações em áreas diversas. A exemplo desses está a produção de radioisótopos, identificação e tratamento de câncer, irradiação de alimentos, controle de qualidade na metalurgia, dessalinização da água do mar, produção de materiais estratégicos de defesa , entre outros.

Segundo a Fundação Getúlio Vargas(2016:8) os desafios enfrentados pela energia nuclear no Brasil são: Regulação; Escolha Tecnológica e Financiamento(Modelo de Negócio). A regulamentação pode ser vista tanto como um problema burocrático, por questões de pressão e vigilância por órgãos exteriores, quanto por problema de rejeição.

Pesquisas realizadas provam que a maioria da população teme os efeitos negativos da implementação de usinas nucleares no país. Este medo em sua vez está vinculado á má divulgação e promoção dos benefícios da energia nuclear. Que por sua vez é sempre associada à eventos catastróficos veiculados pela mídia.

Assim, a fim de prospectar uma solução para o primeiro problema enfrentado pelas usinas nucleares no Brasil, a regulação, frente a sociedade acadêmica, fora desenvolvido o presente trabalho onde é realizada uma revisão bibliográfica sobre as tecnologias nucleares e um estudo de caso, a análise da percepção da sociedade acadêmica da Faculdade de Engenharia do Gama da Universidade de Brasília, FGA-UNB, quanto às implicações das tecnologias nucleares.

1.1 Objetivos

1.2 Objetivo Geral

Fundamentar a concepção de uma proposta de solução ao problema da desconfiança pública quanto às tecnologias nucleares.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar uma breve análise histórica do desenvolvimento das usinas nucleares;

- Elucidar as vantagens e desvantagens da energia nuclear;
- Verificar o histórico de desenvolvimento dos reatores nucleares;
- Descrever os tipos de reatores nucleares e seus respectivos dispositivos e métodos de segurança;
- Elaborar e aplicar um questionário para a realização um estudo qualitativo e quantitativo da percepção da comunidade acadêmica da UnB/FGA sobre a energia nuclear;
- Analisar quantitativamente os dados obtidos na pesquisa

2. TIPOS DE REATORES E CONTROLE DE SEGURANÇA

2.1 Breve Histórico das Usinas Nucleares

Numa perspectiva histórica, infere-se que os primeiros os estudos do aproveitamento da energia do núcleo através da reação em cadeia controlada tiveram início com os trabalhos do físico italiano Enrico Fermi. Em 22 de outubro de 1934, fora utilizada em um experimento a parafina como moderador de nêutrons. A partir desta experiência Fermi e seu grupo¹ verificaram que a “a parafina multiplicava grandemente o efeito dos nêutrons”. Comissão Nacional da Energia Nuclear (CNEN,2008).

A partir dessa descoberta foram desenvolvidas pesquisas relacionadas à interação dos nêutrons derivados da reação de fissão em cadeia com outros núcleos radioativos. Então, em 2 de dezembro de 1942, num evento que contou com a presença de ilustres cientistas, entrou em funcionamento o primeiro Reator Nuclear, com uma reação em cadeia autossustentável que deu início à Era Nuclear, (CNEN, 2008).

Desde então começou a corrida em busca do desenvolvimento dessa tecnologia. De início voltado apenas aos interesses armamentistas das nações, em seguida com o cunho pacífico objetivando a produção de energia elétrica e posteriormente à produção de radiofármacos.

O ponto chave do desenvolvimento das usinas nucleares reside na busca exaustiva pela criação de novos tipos de reatores ou aprimoramento da daqueles já existentes. Tal aprimoramento buscava maior capacidade de produção energética, maior eficiência e, principalmente, desenvolver cada vez mais os dispositivos que garantem a segurança dos reatores e das pessoas dispostas aos riscos inerentes a tais instalações tecnológicas.

No Brasil, a construção de usinas nucleares, em primeira instância, esteve

¹ O grupo acima citado se refere aos autores da *lettera* intitulada: “*Azione di Sostanze Idrogenate sulla Radioattività Provocata da Neutroni*” utilizada como veículo de divulgação dos resultados da experiência de Fermi. Escrita pelos autores: E. Ferrai, E. Amaldi, B. Pontecorvo, F. Rasetti, E. Segre.

ligada aos objetivos do “Programa de Metas” do governo Kubitschek (1956-1961). Posterior a este prelúdio pode-se definir a evolução das usinas nucleares no Brasil em etapas/atos com início em 1950. Como consta no artigo de Cabral (2012:1), publicado na revista eletrônica de Energia:

O primeiro refere-se à construção de Angra I; o segundo, ao Acordo Brasil-Alemanha; e o terceiro, à decisão de construir novas usinas nucleares e finalizar a construção de Angra III. Nesse lapso de tempo, graças à Marinha do Brasil, o país adquiriu o domínio do ciclo do combustível nuclear, porém não completou o projeto de desenvolver um reator brasileiro.

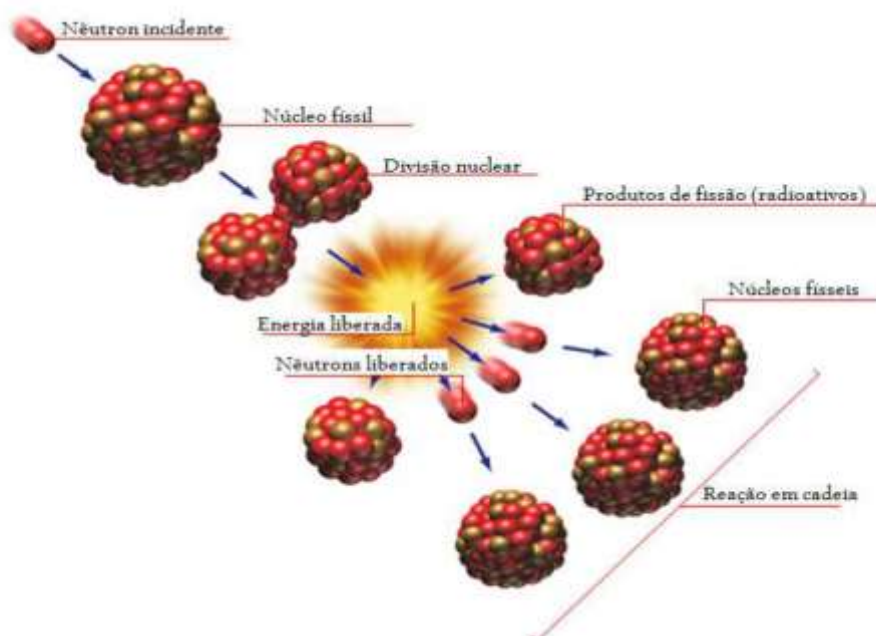
2.2 Abordagens aos Princípios Teóricos Envolvidos na Reação de Fissão

Não é plausível falar em reatores nucleares sem antes fazer uma abordagem teórica mínima a respeito dos fenômenos físicos envolvidos nas reações de fissão nuclear.

Os nêutrons não possuem carga, e com isso a interação destes com a matéria se dá diretamente com os núcleos dos átomos via espalhamento e absorção. O espalhamento pode ser classificado como elástico, onde apenas transferência de energia cinética e momento sem provocar alterações estruturais, e espalhamento inelástico, de acordo com a quantidade de movimento do nêutron incidente outro nêutron é arrancado do núcleo e emite raios gama ao retornar ao estado de equilíbrio. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009).

A absorção pode ocorrer tanto por captura radioativa quanto por fissão nuclear. Na captura radioativa o núcleo atingido pelo nêutron se excita e ao retornar á estabilidade emite fótons ou matéria. Na fissão nuclear um átomo pesado atingido por um elétron acelerado se divide emitindo mais 2 ou 3 nêutrons ocasionando em uma reação em cadeia, como exemplificado pela figura abaixo. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009).

Figura 1: Reação de fissão em cadeia



FONTE: DA SILVA RESENDE et. al., 2009:15.

É na Fissão Nuclear que se baseia a obtenção de energia pelos reatores nucleares de potência. Na reação em cadeia ocorrida neste processo 80% da energia liberada é transmitida aos fragmentos em forma cinética. Esta energia cinética mais a energia produzida pela frenagem dos neutrons e pelos raios gama serão convertida em calor ao interagirem com a matéria presente (DA SILVA RESENDE et. al., 2009).

A energia térmica liberada é transferida a um fluido refrigerante que, para ser resfriado passa por trocadores de calor acoplados a conversores eletromecânicos de energia. De onde se obtêm a energia elétrica.

2.2.1 Componentes Básicos de um Reator

Segundo da Silva Resende et. al. (2009:18) todo reator nuclear possui uma estrutura básica. Conhecer essa estrutura torna possível classificar os principais elementos e materiais de um reator bem como sua utilidade. Compõem esta

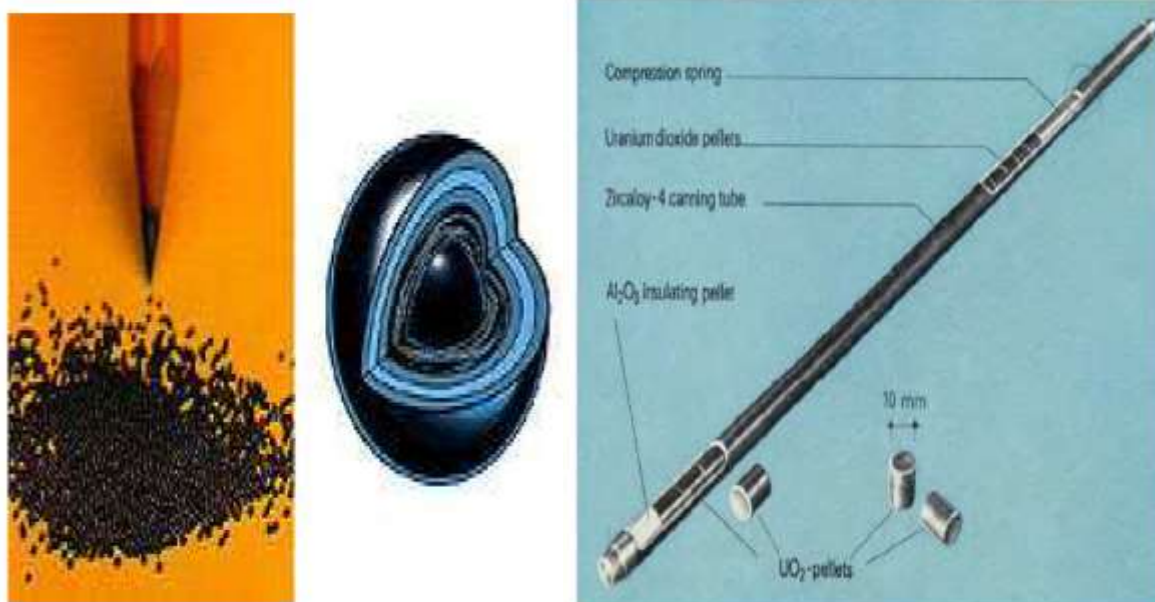
estrutura o combustível nuclear, moderadores de nêutrons, refrigerante, absorvedores de nêutrons, blindagem e outros.

O combustível é composto por isótopos físséis e férteis responsáveis pela reação em cadeia de fissão, um como material físsil (quebra liberando energia e nêutrons) e outro como material fértil (absorvedor de nêutrons age como moderador da reação).

Segundo da Silva Resende et. al. (2009:18) os moderadores são:

Materiais utilizados em reatores térmicos para reduzir ou moderar a energia dos nêutrons rápidos gerados no processo de fissão nuclear aumentando a probabilidade de ocorrência de novas reações nucleares. Também possuem a função de servir como refletores de nêutrons circundando o núcleo do reator de forma a minimizar fuga de nêutrons do núcleo.

Figura 2: Exemplo de elementos combustíveis reator CGR à esquerda e PWR à direita.



FONTE: DA SILVA RESENDE et. al., 2009:18.

A figura acima mostra como é disposto o material combustível de dois dos principais tipos de reatores de potência, o CGR e o PWR.

O Refrigerante é geralmente um material líquido ou gasoso utilizado para retirar o calor obtido com a fissão. Devem possuir densidade considerável, para evitar problemas no bombeamento. Ponto de ebulição elevado e de fusão reduzido.

Além disso, deve possuir baixa radioatividade, estabilidade de irradiação térmica consideráveis. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009:19).

Os absorvedores, segundo Resende et. al. (2009:20), mantêm controlada a reatividade do reator, através inserção ou retirada dos materiais férteis do núcleo. Sendo assim, os absorvedores mantêm constante e controlado o fluxo de nêutrons no núcleo distribuindo homogeneamente a potência no núcleo. Possuem as mesmas características dos moderadores, porém, devem também ser resistente à corrosão.

Por fim, a blindagem, bem como as estruturas, tem como função serem barreiras para a radiação, protegendo os componentes externos ao núcleo, e como barreira física e suporte às estruturas do núcleo, respectivamente. Ambas com características semelhantes às do material moderador e absorvedor.

2.3 Tipos de Reatores e seus Respectivos Sistemas

2.3.1 Tipos de reatores

Segundo Präss (2007: 17), os reatores nucleares possuem inúmeras combinações de materiais e disposições de componentes. E, portanto, são classificados de acordo com os seguintes fatores:

- Quanto à finalidade.
- Quanto à energia dos nêutrons.
- Quanto à combinação moderador e refrigerante.
- Quanto ao combustível.
- Quanto à disposição dos componentes.
- Quanto aos materiais estruturais.

Quanto à finalidade, os reatores são destinados à pesquisa e ao desenvolvimento e produção de radioisótopos destinados à medicina. Também podem ser produção de energia elétrica, sendo que a estes se dá o nome de reatores de potência. Por fim, existem os reatores de produção de elementos físeis a partir de elementos férteis, por exemplo, U^{235} a partir de U^{238} e os derivados do Th^{232} , os reatores de produção são raros. (PRÄSS, 2007: 17).

Com relação à energia dos nêutrons, os reatores são classificados como

reatores rápidos, utilizam cerca de 10% de material físsil no combustível, seu núcleo pode não possuir moderador ou um refletor levando à fissão por nêutrons rápidos. Nestes reatores há a possibilidade de reproduzir um nuclídeo físsil, idêntico ao disposto no elemento combustível inicial por captura neutrônica e no reator em que isso acontece é denominado reator reprodutor. Isso pode ser visto como uma vantagem com relação aos demais por otimizarem a demanda pelos nuclídeos físsis que possuem produção centralizada. (PRÄSS, 2007: 17).

Quando o reator possui alto percentual de moderador em seu núcleo, a energia cinética dos nêutrons liberados na fissão sofre abrupto decaimento ocasionando em elevação da temperatura do reator, caracterizando assim os chamados reatores térmicos. Nestes reatores as fissões são produzidas por nêutrons denominados lentos ou térmicos. Esses últimos tipos de reatores possuem vantagens por utilizarem tipos diferenciados de moderadores, refrigerantes e materiais combustíveis, porém são maiores. (PRÄSS, 2007: 18).

Quanto às combinações entre moderador e refrigerante destacam-se as combinações:

Tabela 1: Principais Combinações entre Moderador e Refrigerante

Moderador	Refrigerante
Água leve	Água leve
Água pesada	Dióxido de carbono
Grafite	Hélio
Berílio	Sódio Líquido

Fonte: Adaptado de PRÄSS (2007: 19).

A disposição dos elementos no núcleo bem como a estrutura dos materiais estruturais e o combustível estão interrelacionados. Destacando-se que quando o combustível é isolado do refrigerante caracteriza-se uma disposição heterogênea e, quando se há a mistura combustível, moderador e refrigerador caracterizam as disposições homogêneas. (PRÄSS, 2007: 19).

Em resumo são mostrados abaixo os principais tipos de reatores relacionados a seus respectivos constituintes.

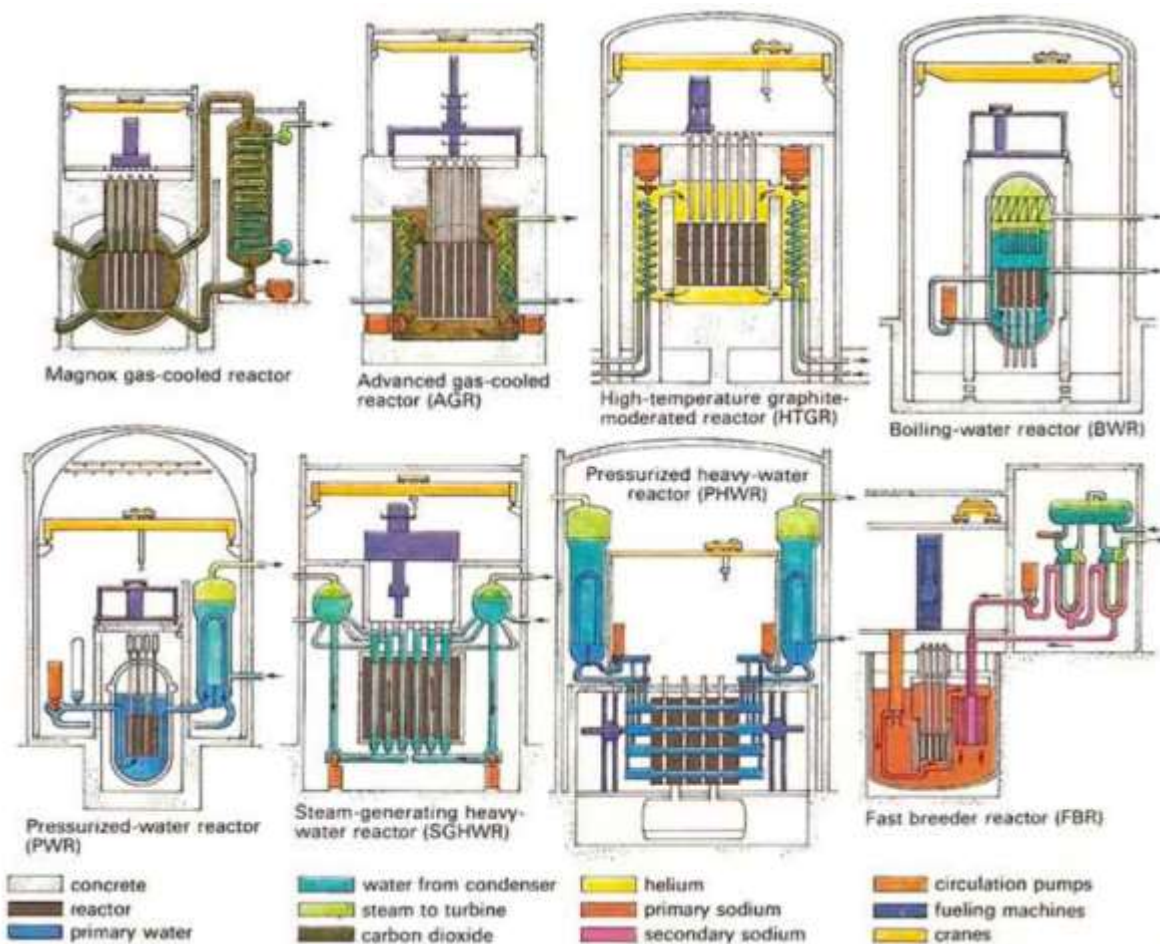
Tabela 2: Tipos de Reatores e seus respectivos constituintes.

	Água Pressurizada (PWR)	Água em Ebulição (BWR)	Água pesada e urânio natural (CANDU) ou PHWR	Refrigerado a gás, alta Temperatura (HTGR)	Regenerador Rápido com Metal Líquido (LMFBR)
Combustível	UO ₂	UO ₂	UO ₂	UC ₂ , ThC ₂	PuO ₂ , UO ₂
Enriquecimento	U-235 a 3%	U-235 a 2,5%	U-235 a 0,7%	U-235 a 93%	Pu-239 a 15%
Moderador	Água	Água	Água pesada	Grafite	Nenhum
Refrigerante	Água	Água	Água pesada	Hélio gasoso	Sólido líquido
Revestimento	Zircaloy	Zircaloy	Zircaloy	Grafite	Aço inoxidável
Controle	Hastes de B ₄ C ou Ag-In-Cd	Cruzes de B ₄ C	Nível do moderador	Hastes de B ₄ C	Tântalo ou hastes de B ₄ C
Vaso	Aço	Aço	Aço	Concreto protendido	Aço
PWR – Pressurized Water Reactor			HTGR - High Temperature gás-cooled Reactor		
BWR – Boiling Water Reactor			LMFBR – Liquid Metal Fast Breeder Reactor		
CANDU – Canadian uranium-deuterium			PHWR – Pressurised Heavy Water Reactor		

Fonte: Fonte: PRÄSS adaptado (2007: 20).

Posteriormente serão mostrados cada um dos principais tipos de reatores aplicados atualmente, o PWR, o BWR e o PHWR. Estes, assim como outros reatores comerciais, são apresentados esquematicamente na figura 3 a seguir.

Figura 3: Esquemático dos principais tipos de reatores.



Fonte: Adaptado de AUTORACING, 2011:1.

Agora, serão mostrados de forma mais detalhada cada um dos principais tipos de reatores mostrados anteriormente, bem como a configuração de seus respectivos componentes. Para tal, são dispostas nas figuras 4, 5 e 6 a seguir disponíveis em (PRÄSS,2007:20,21).

Figura 4: Reator a Água Pressurizada- PWR- *Pressurized Water Reactor*

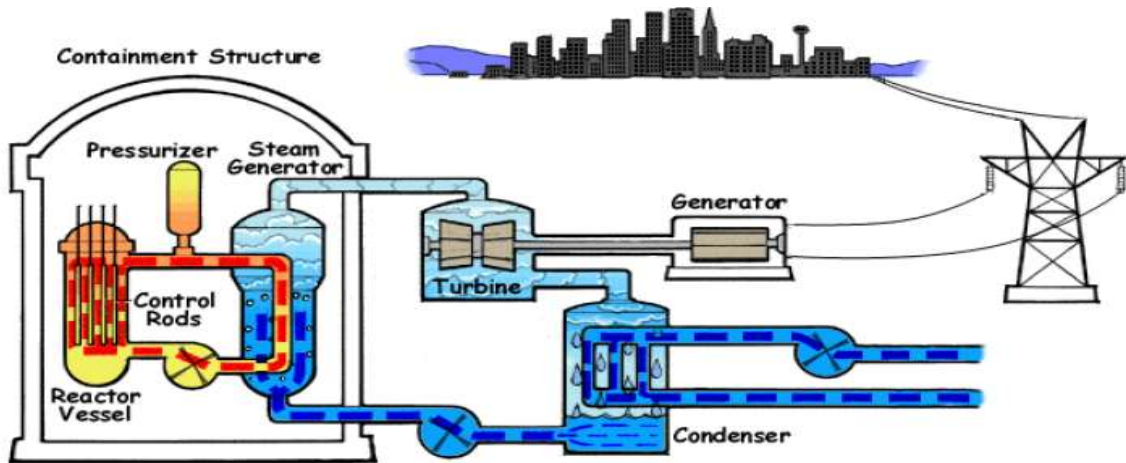


Figura 5: Reator a Água Fervente - BWR- *Boiling Water Reactor*

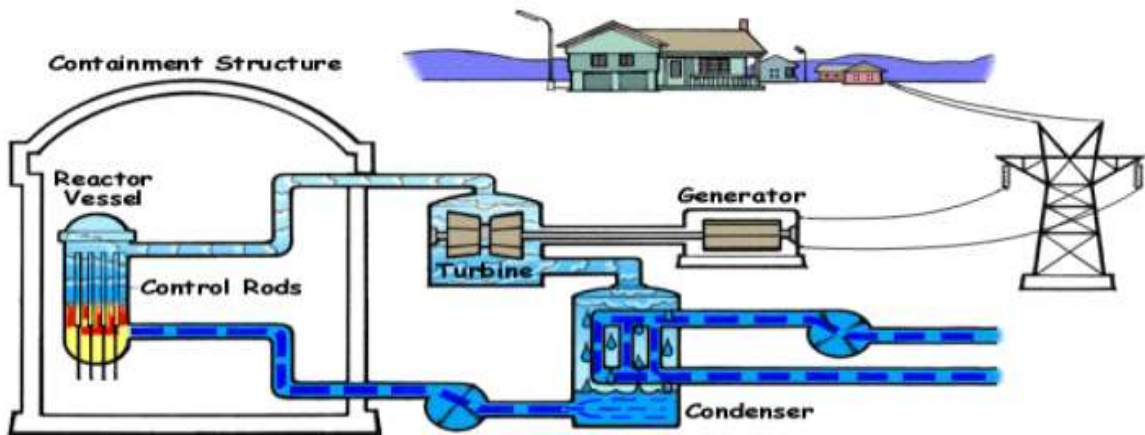
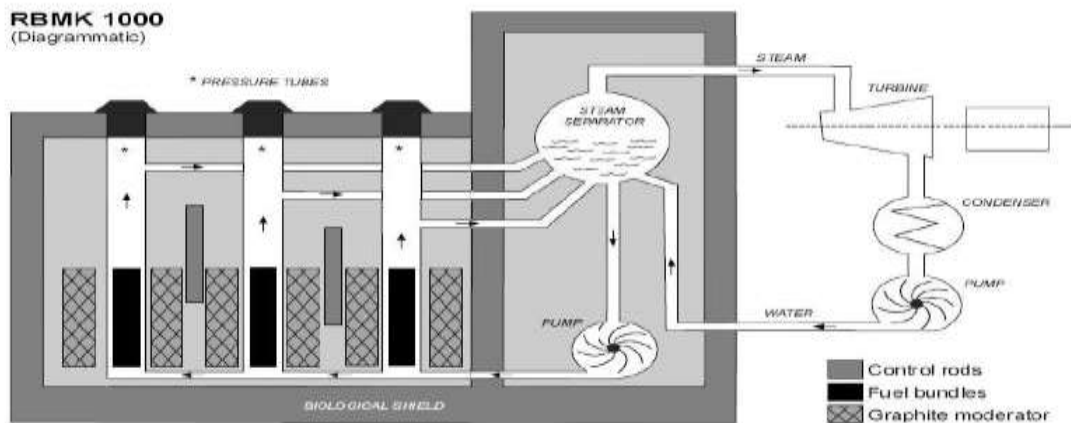
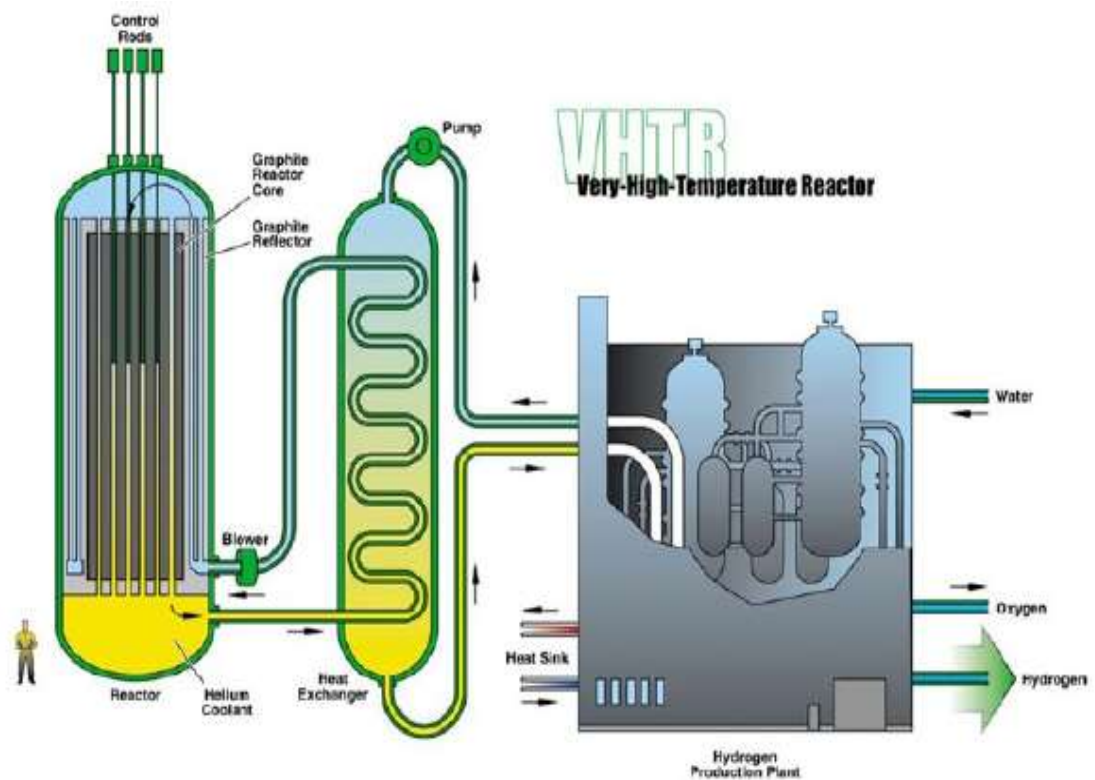


Figura 6: Reator RBMK. Reator Água pressurizada com canaletas individuais de combustível. O Utilizado em Chernobyl.



Além dos reatores convencionais exemplificados nas figuras acima existem ainda reatores mais novos em fase de pesquisa e implementação, a esses se dá o nome de Reatores de IV Geração. Estes reatores visam melhorar a segurança, a resistência à proliferação, reduzir a produção de lixo radioativo, redução de custos de implementação e operação e a utilização de combustíveis naturais, ou seja, sem a necessidade de enriquecimento. (PRÄSS, 2007: 22). A figura a seguir traz um exemplo de reator de quarta geração.

Figura 7: Exemplo de Reator de IV Geração



Fonte: Adaptado de PRÄSS (2007: 22).

2.3.2 Tipos de reatores e seus dispositivos de segurança

Não se pode entrar no mérito da segurança empregada aos reatores sem antes revisar quais riscos se quer precaver.

Segundo Goldemberg (2008:1), “Existem três riscos associados ao uso da energia nuclear: físicos, econômicos e estratégicos”. Riscos físicos, são relacionados ao material radioativo e à radioatividade. Riscos econômicos, são as implicações do alto custo da energia nuclear e estratégicos os espólios da tecnologia nuclear que estão relacionados às questões bélicas.

Dentre estes três tipos de risco associados serão explorados as medidas e estratégias de segurança relacionadas aos riscos físicos e estratégicos visto que o risco econômico é intrínseco a estabilidade dos demais como demonstrada pela seguinte afirmativa disponível no artigo de Goldemberg (2008:1):

(...)as preocupações com a segurança dos reatores nucleares têm conseqüências que aumentam muito seu custo(...)

Em seu trabalho, Cabral (2012:91) traz que, a preocupação no que tange os riscos físicos surgiu ainda no início do século XX. E que através da percepção destes riscos pesquisadores têm desenvolvido métodos e princípios de proteção radiológica para os envolvidos no processo, primeiro para os pesquisadores segundo para os demais envolvidos com meios radioativos.

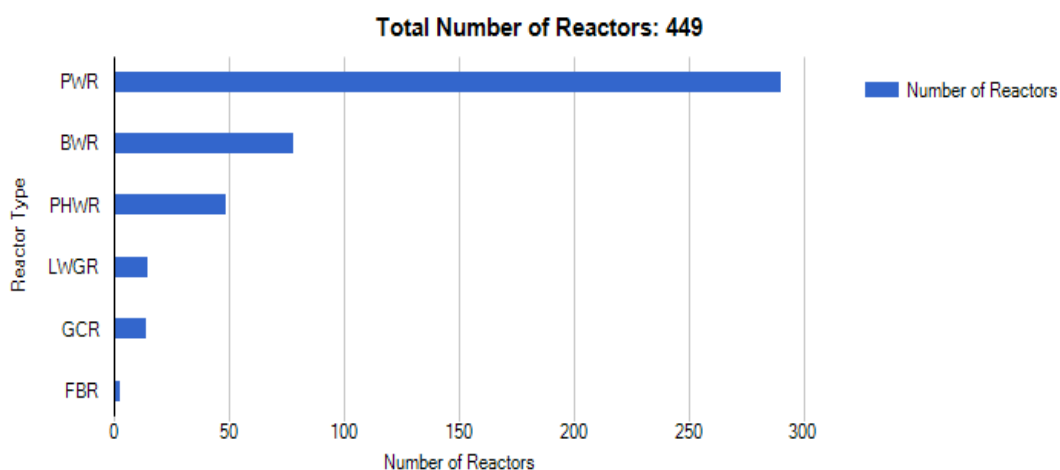
Também, segundo Neto & Correa (1997:2), os métodos de verificação de segurança e risco nas instalações nucleares são classificados em análise de acidentes e análise probabilística de segurança (APS).

A Análise de Acidentes constitui-se na base do trabalho submetido ao licenciamento de instalações nucleares, o qual demonstra, aos olhos do órgão licenciador, que os dispositivos técnicos de segurança existentes na usina nuclear são capazes de mitigar adequadamente a evolução de cada um dos acidentes postulados, denominados acidentes básicos de projeto.

A APS é feita desde 1975, data de emissão do protocolo WASH-1400². É dividida em 3 níveis. O primeiro trata das sequências de eventos que poderiam conduzir à fusão do núcleo do reator. O segundo da análise de processos físicos envolvidos no acidente e como conter estes. Por último, o terceiro nível verifica como será o transporte do material radioativo e avalia os riscos para o público. (NETO & CORREA,1997: 2,3).

Atualmente os principais tipos de reatores de potência utilizados são como demonstrados a seguir:

Gráfico 1: Principais Tipos de Reatores de Potência em Utilização



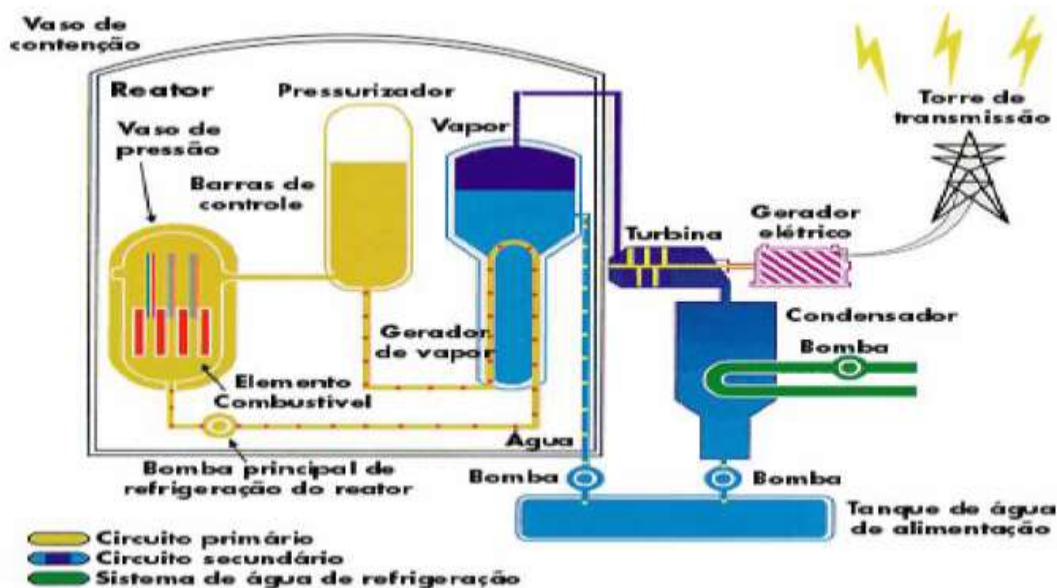
Fonte: PRIS, AIEA 2017.

Reator a Água Pressurizada- PWR

Segundo da Silva Resende et. al. (2009:28), os PWR's são derivados de reatores desenvolvidos para submarinos, idealizados pela *Westinghouse*. Posteriormente desenvolvidos pela *Asea Brown Boveri-Combustiom Engeneering* (AAB-CE), *Kraftwerk* União, *Mitsubishi* e *Siemens*. É o tipo de reator mais empregado no mundo para a produção de energia como demonstrado no gráfico 1. As usinas que utilizam este tipo de reator são como o esquema mostrado na figura 8 abaixo:

² Wash 1400 que quantificou os riscos dos reatores térmicos de água leve nos Estados Unidos, escrito por N. Rasmussen e equipe. O Wash 1400 usava a técnica de árvore de falhas para avaliar a possibilidade de acidentes. ROSA (1986:17).

Figura 8: Esquema de usinas que utilizam reatores nucleares do tipo PWR.



Fonte: DA SILVA RESENDE et. al., 2009:29.

Os principais componentes do sistema de um reator PWR estão contidos dentro dos seguintes circuitos: Circuito Primário; Circuito Secundário.

O circuito primário é composto pelo Núcleo do reator, onde ocorre a geração de calor; a Bomba de refrigeração, que entre outras funções, é o principal item do reator, é ela quem é a responsável por transportar o fluido de refrigeração que se aquece no núcleo até os geradores de vapor que vão transformar a energia térmica em energia cinética de gases a ser transformada em energia elétrica nas turbinas. E por último o Envoltório ou Vaso de Contenção, é o edifício do reator, feito de concreto envolvendo uma contenção de aço. É uma das barreiras físicas da usina. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009:30).

O circuito secundário é composto por uma Bomba de fluido de trabalho, move o fluido pelo estágio de geração ou secundário da usina; Turbina acoplada ao Gerador elétrico, este conjunto forma o sistema conversor eletromecânico de energia da usina; e o Condensador neste o restante da energia térmica do fluido de trabalho é dissipada. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009:31).

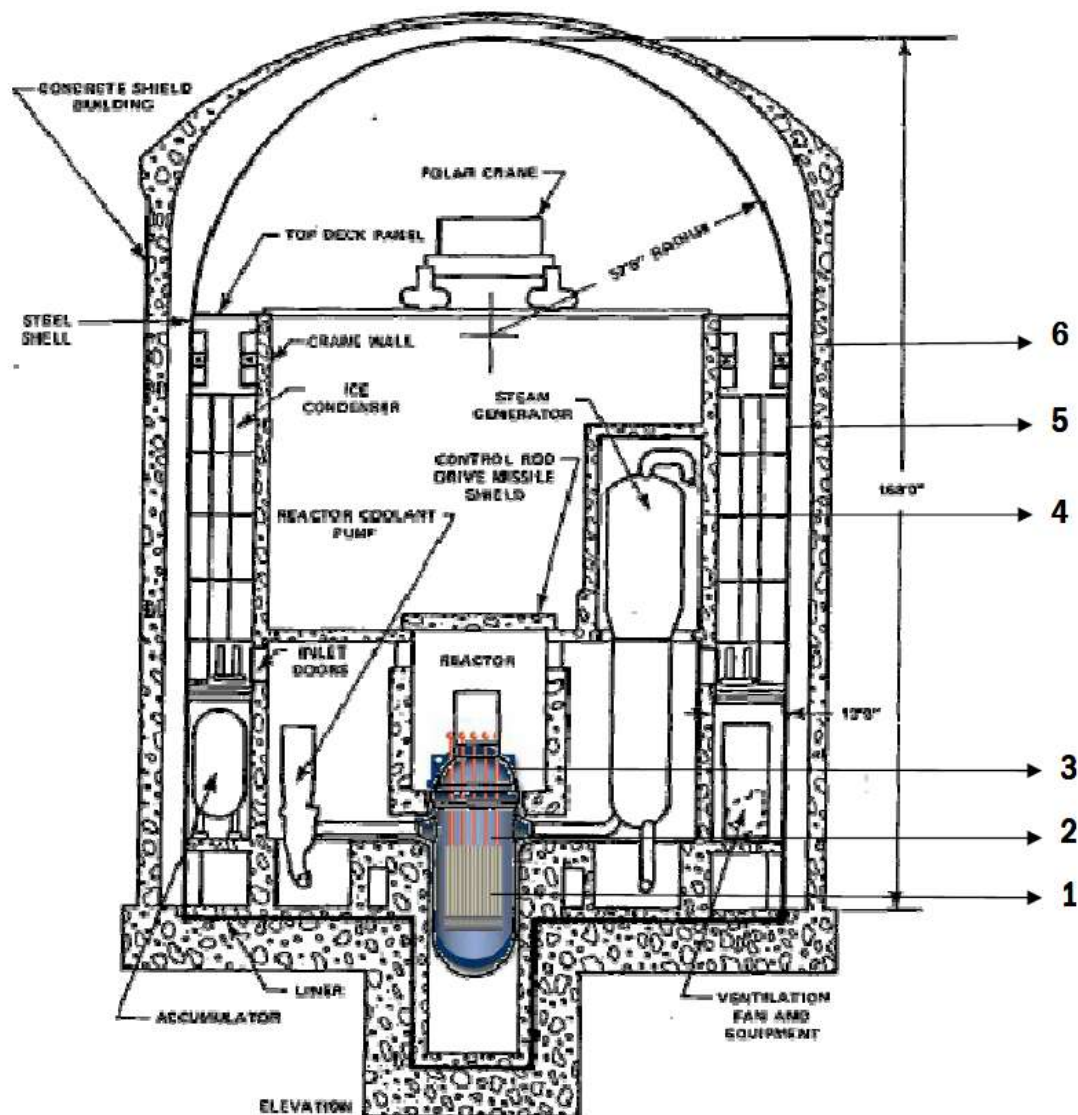
O controle da radioatividade, da potência ou até mesmo o desligamento (resfriamento) do reator PWR é feito por intermédio da inserção ou retirada das barras de controle, composta por uma liga de prata 80%- índio 15% -Cádmio, ou pela variação da concentração de Boro. Essas barras, assim como o Boro, são

absorvedores de nêutrons. Há ainda sistemas auxiliares indispensáveis à plena operação dos reatores que consiste fundamentalmente no sistema de controle químico e volumétrico³ do refrigerante e conseqüentemente a retirada do calor produzido na reação de fissão. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009:32).

No que tange ao sistema de segurança deste tipo de reatores a primeira afirmativa é que “ é fisicamente impossível ou reator desse tipo explodir com uma bomba atômica, tanto nas condições normais quanto em caso de acidente” (DA SILVA RESENDE et. al., 2009:35). Caso ocorra um acidente as chances de ocorrer vazamento radioativo são mitigadas pelos redundantes sistemas de proteção físicos mostrados e definidos a seguir:

³ O Sistema de Controle Químico e Volumétrico para uma Usina Nuclear tipo Reator de Água Pressurizada – PWR, é o sistema auxiliar mais importante, sendo permanentemente necessário para a operação do reator. DA SILVA RESENDE et. al., 2009.

Figura 9: Sistemas de proteção de um PWR



Fonte: DA SILVA RESENDE et. al., 2009:36.

- 1- A natureza cerâmica do combustível, que somente se funde acima de 2800°C;
- 2- O revestimento do combustível, que na presença de água resiste à temperatura de 1400°C;
3. O vaso de pressão, cujas paredes de aço têm espessura de 25 cm em Angra II;
4. A Blindagem radiobiológica;
5. O vaso de contenção de aço, com 3 cm de espessura, que retém completamente qualquer material radioativo que eventualmente venha a escapar em um acidente, impedindo assim que atinja o meio ambiente;
6. O edifício de concreto reforçado, que protege o reator de agentes externos.

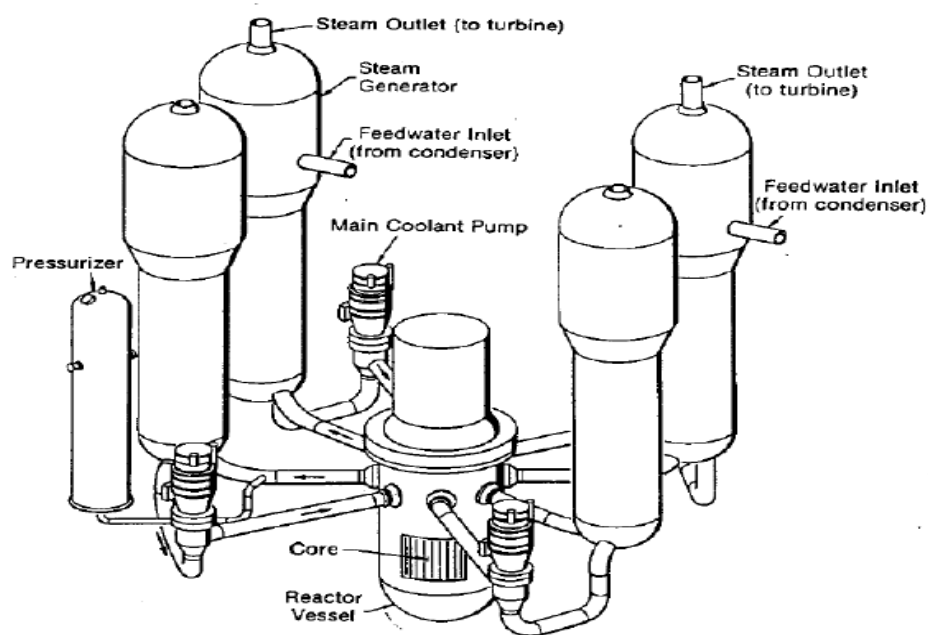
Por último, o sistema de refrigeração, já citado anteriormente, que por sua

grande responsabilidade possui um sistema auxiliar redundante que é o Sistema de Refrigeração de Emergência do Núcleo. Este é para o caso de acidentes.

O sistema consiste de circuitos de transferência de calor conectados em paralelo ao vaso do reator. As usinas brasileiras de Angra 1 tem 2 circuitos e Angra 2 tem 4 circuitos. Cada circuito contém uma Bomba de Refrigerante do Reator e um Gerador de Vapor. Além destes equipamentos o sistema inclui um Pressurizador, um Tanque de Alívio do Pressurizador, tubulações e instrumentação necessária ao controle operacional do sistema. (DA SILVA RESENDE, 2009: 37).

Um exemplo esquemático do sistema de refrigeração é dado abaixo ele é a *Westinghouse* e é o aplicado aos PWR.

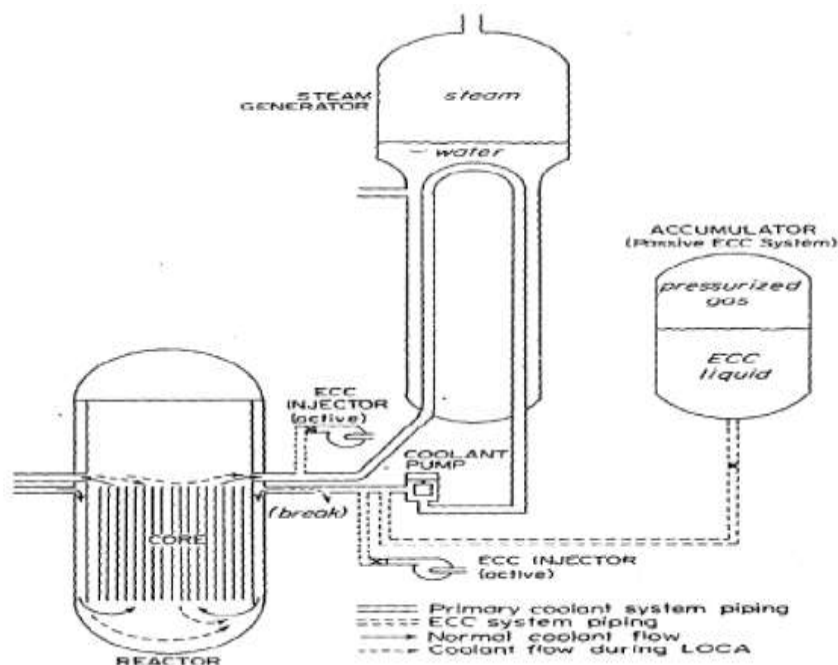
Figura 10: Esquema de um sistema de refrigeração dos PWR's.



Fonte: Adaptado DA SILVA RESENDE et. al., 2009: 38.

E, um esquema do sistema de refrigeração de emergência dos PWR's é como o dado a seguir:

Figura 11: Esquema do sistema de refrigeração de emergência de um PWR



Fonte: Adaptado DA SILVA RESENDE et. al., 2009: 39.

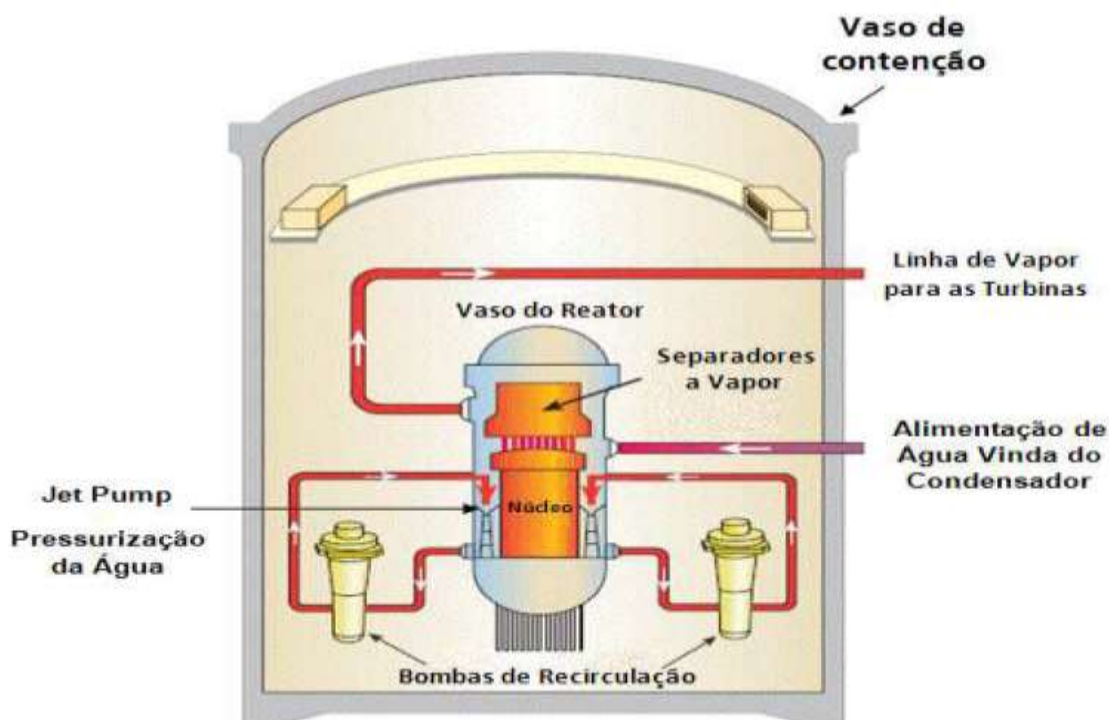
Os reatores instalados no Complexo Nuclear Almirante Alberto Teixeira brasileiro Angra I, II e III (em fase de instalação), são Reatores a Água Pressurizada. Portanto, se valem dos mesmos sistemas e configurações de segurança aqui citado.

Boiling Water Reactor- BWR- Reator a Água Fervente

O BWR é segundo tipo de reator mais utilizado no mundo. Foram desenvolvidos pela *General Electric* no Laboratório Nacional de Idaho nos EUA em meados da década de 50. É composto por: Sistema de alimentação; Sistema de Controle, feito por inserção de varetas de combustível ou alterando a pressão ou volume do fluxo de água aplicado ao núcleo; Turbinas a Vapor D'Água (conversor eletromecânico de energia); Combustível (cerca de 74 a 100 varetas de combustível) e os sistemas de segurança que se assemelham aos do PWR. (DA SILVA RESENDE et. al. 2009: 25).

O sistema de alimentação⁴ do BWR pode ser visto na figura 12 abaixo:

Figura 12: Sistema de alimentação de um BWR.

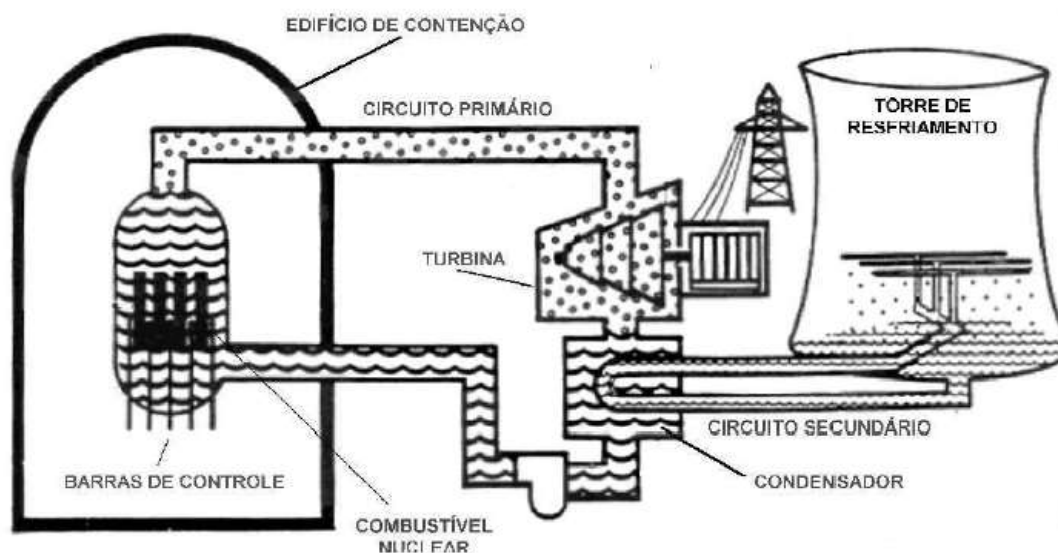


Fonte: Adaptado DA SILVA RESENDE et. al. , 2009: 25.

As principais componentes de um BWR estão divididas em dois circuitos, o circuito primário e o circuito secundário. No circuito primário estão as barras de controle (controlam a reação de fissão) e o combustível nuclear, compondo o núcleo do reator que está dentro do edifício de contenção. Já o circuito secundário é composto pela turbina que, acoplada a um gerador elétrico compõem o sistema conversor eletromecânico. O condensador onde o restante do calor do vapor é retirado (voltando o fluido de resfriamento ao estado líquido) e a torre de resfriamento donde é feita a troca de calor do fluido com o meio. Como visto na figura 13 adiante:

⁴ A alimentação de água entra no reator pela região dos separadores, onde ainda sob a forma líquida é separada do vapor. Este fluxo de água aplicado as bombas a jato que utilizando a pressão da cabeça térmica na parte superior do vaso do reator ou das bombas de recirculação interna pressurizam a água que é aplicada ao núcleo...A recirculação forçada, sob pressão, da água no interior do vaso é muito importante no controle da potência de operação do reator. O nível de potência térmica, também é variado aumentando ou diminuindo o fluxo de recirculação... (DA SILVA RESENDE et. al. , 2009: 25)

Figura 13: Componentes de um BWR



Fonte: Adaptado DA SILVA RESENDE et. al., 2009: 23.

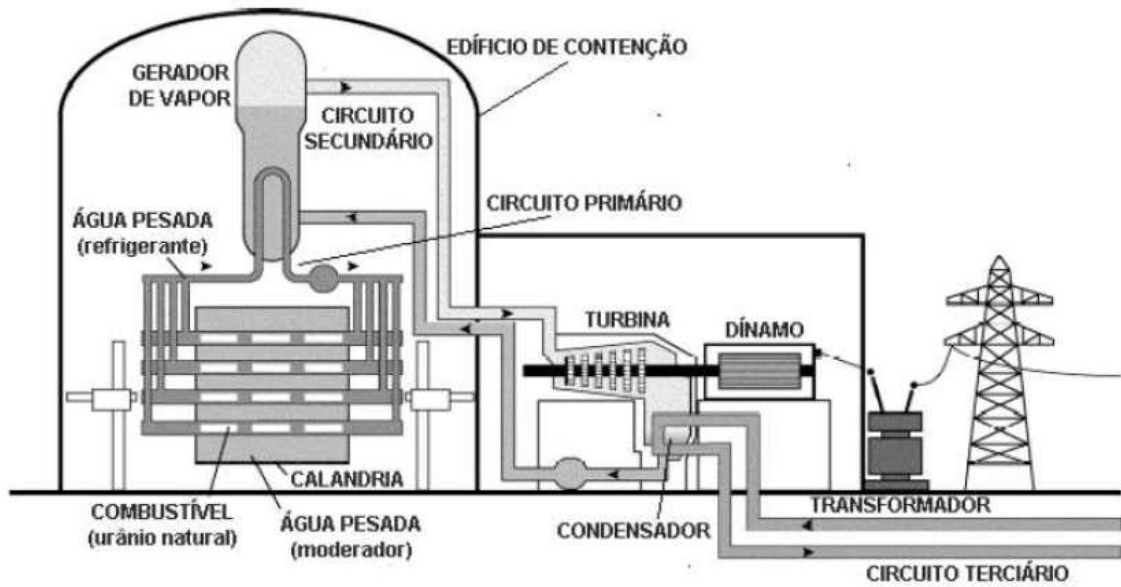
De acordo com da Silva Resende et. al. (2009: 28) desde sua concepção algumas melhorias foram feitas neste tipo de reator. Dentre elas estão instalação de bombas de refrigeração, elevação da potência térmica fornecida e reforço na blindagem de concreto.

Pressurized Heavy Water Reactor -PHWR- Reator a Água Pesada Pressurizada

No que tange ao sistema de segurança empregado a este tipo de reatores de potência. Este é composto, assim como os demais citados anteriormente, por barras de controle de emergência (absorvedor- moderador de nêutrons) que são inseridas por queda livre; sistema de resfriamento de emergência (para o caso de acidentes onde se há a perda de refrigerante e conseqüentemente a fusão do núcleo, o LOCA); estrutura de contenção feita de concreto com revestimento plástico. Além disso, o sistema de segurança desse reator conta com sistema *spray* que juntamente com um ventilador reduzem a pressão do edifício de contenção, chegando à pressão negativa em certos casos. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009: 49).

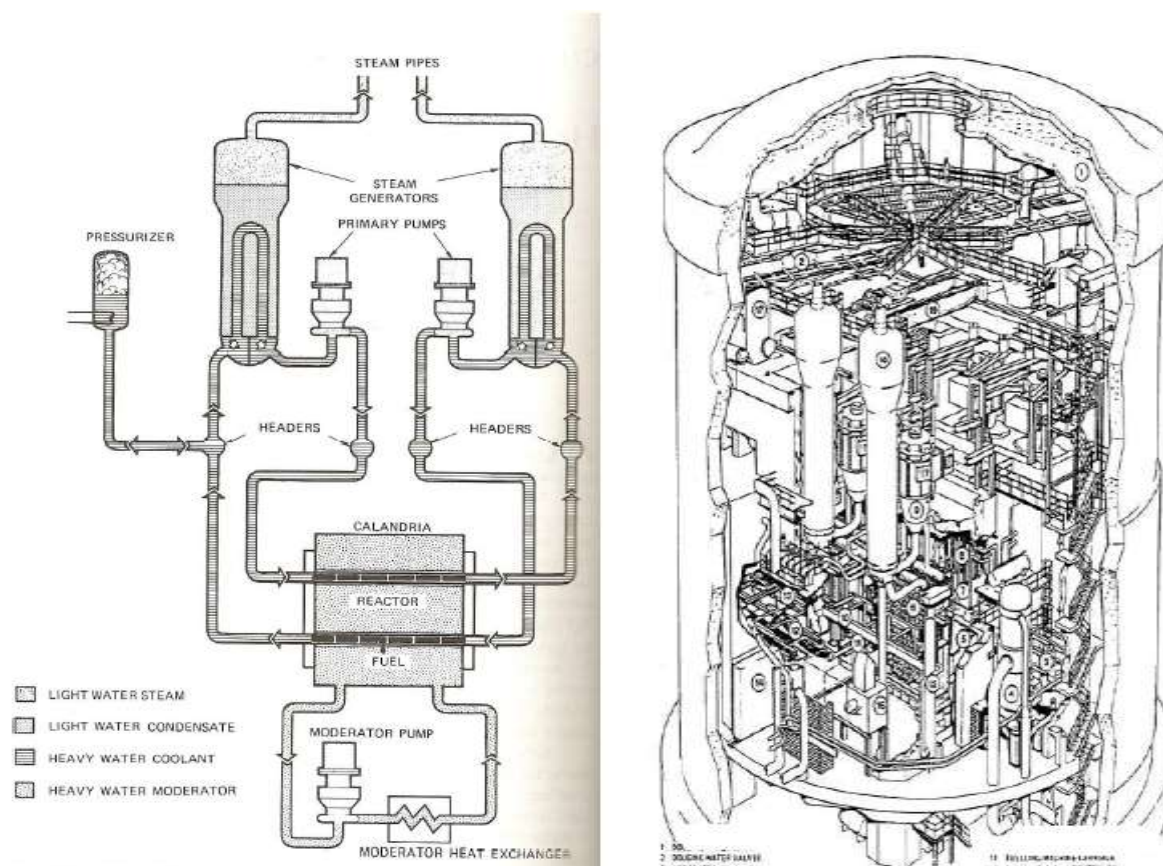
O sistema de refrigeração bem como o sistema de contenção e um esquemático da estrutura de um PHWR é mostrado a seguir.

Figura 14: Esquemático de um PHWR.



Fonte: Adaptado DA SILVA RESENDE et. al., 2009: 43.

Figura 15: Sistema de Refrigeração e de Contenção de um PHWR. Respectivamente.



Fonte: Adaptado DA SILVA RESENDE et. al., 2009: 44, 49.

Os reatores PHWR são parecidos como os PWR diferenciando apenas por utilizarem água pesada, o Deutério, e por utilizarem como combustível o urânio natural U-232, ao invés de urânio enriquecido, U-235, como os PWR's. (DA SILVA RESENDE et. al., 2009).

Com este termina-se a abordagem aos 3 principais tipos de reatores empregados na produção de energia elétrica atualmente. Há ainda reatores de Geração III +, de Geração IV e as prospecções tecnológicas que são os reatores a Fusão Nuclear.

Como consta na publicação da Fundação Getúlio Vargas (FGV) (2015:12), as Usinas de Geração III + utilizam fenômenos físicos naturais tais como a força da gravidade, troca de calor por convecção e circulação natural de gases e líquidos como sistemas passivos de segurança. Isso faz com que esses sistemas atuem automaticamente em caso de acidentes, sem a necessidade a intervenção humana.

Além disso, possuem sistemas de ignição e controle digitais e, vantagens construtivas, tais como, construção modular; padronização de sistemas, materiais e equipamentos; organização do canteiro de obras otimizada; gerenciamento facilitado do almoxarifado de obras. A exemplo das Usinas de Geração III + e alguns dispositivos de segurança aplicado a essas disponíveis no mercado tem se:

Imagem 1: Exemplos de Usinas Geração III + e Dispositivos Passivos de Segurança.

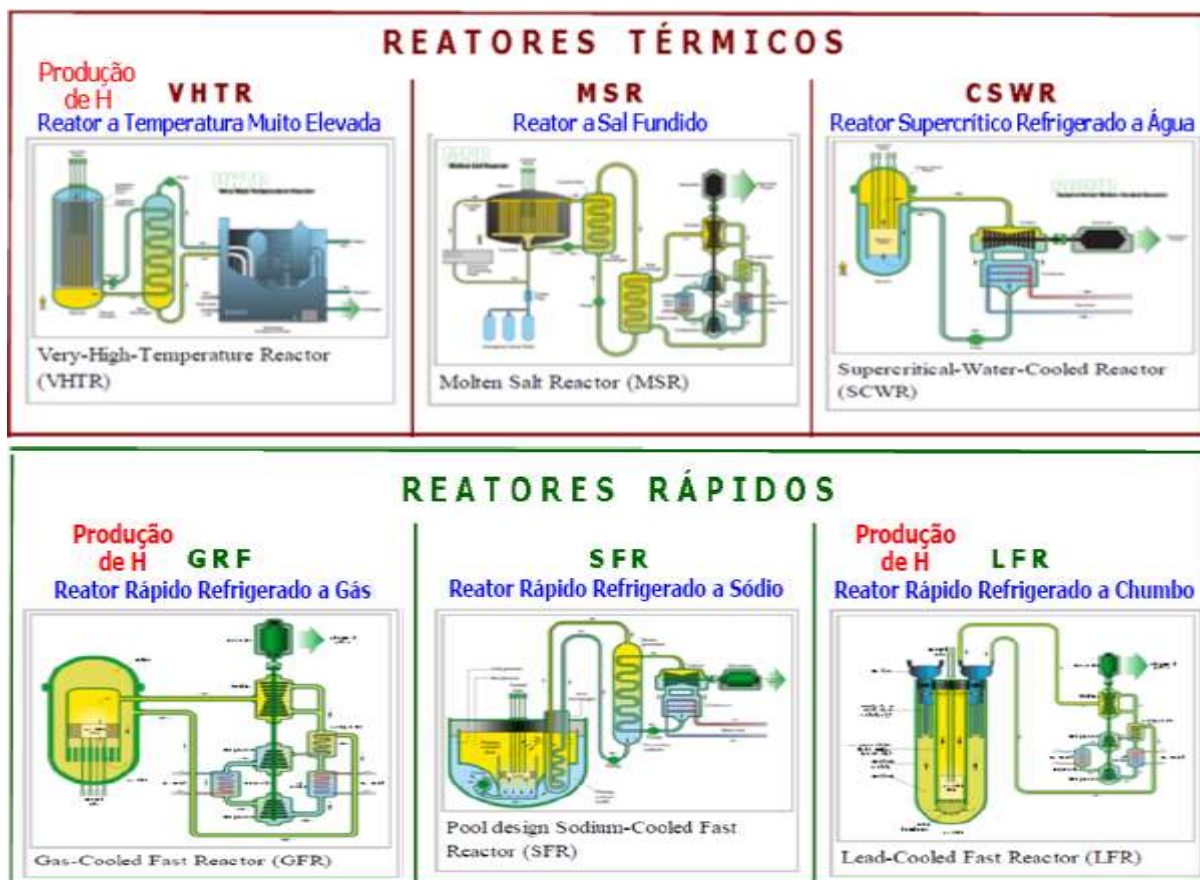


Fonte: Adaptado de FGV, 2015: 14.

Os reatores nucleares de IV Geração são os reatores do futuro, pois, possuem versatilidade por serem híbridos, servindo para a geração de eletricidade, de hidrogênio e água potável. (FGV, 2015: 16).

Exemplos deste tipo de reatores podem ser visto na figura 16 a seguir:

Figura 16: Exemplos de reatores de Geração IV.



Fonte: Adaptado de FGV, 2015: 16.

Por último e não menos importante vêm os Reatores a Fusão Nuclear, o princípio de produção de energia das estrelas, como sabido. A Fusão Nuclear é contrária à Fissão Nuclear. Ao invés da quebra de 1 átomo pesado gerando 2 novos átomos leves, a fusão funde 2 átomos leves gerando 1 átomo mais pesado. Neste tipo de reação há uma liberação muito maior de energia que na fissão e que a energia consumida no processo. Além disso, a produção de rejeitos é mitigada, não há implicações estratégicas (proliferação de subprodutos aplicáveis à indústria bélica). (FGV, 2015: 19).

Contudo, a tecnologia aplicada a este tipo de reator ainda está em processo de desenvolvimento. Sendo que seus principais desafios são: Controle da Reação em Cadeia; As altas Temperaturas envolvidas no processo; obtenção de plasma aplicado à fusão; isolamento do plasma da matéria. (FGV, 2015: 19).

A exemplo de reatores a fusão nuclear existe o Reator Tokamak idealizado

pelo projeto ITER, *International Thermonuclear Experimental Reactor*. Em suma o histórico deste reator bem como uma ilustração de como ele é pode ser visto na imagem a seguir adaptada da FGV (2009: 20).

Imagem 2: Imagem resumo de exemplificação e características de Reatores a Fusão Nuclear






- > **Local:** Cadarache - Sul da França
- > **Potência:** 500 MWe
- > **Custo:** ~ EUR 16 bilhões
- > **Participantes:** 7 Países Europeus, Rússia, EUA, Japão, China, Índia, Coreia do Sul

Cronograma de Implantação	
2008	Início de Preparação do Local
2009	Conclusão da Preparação do Local
2010	Início de Escavações para o Reator
2013	Início de Construção
2015	Previsão para Início de Montagem
2019	Previsão para Conclusão da Montagem
2020	Previsão para Produção do 1º Plasma
2027	Previsão para Início de Operação Deutério-Tritio



Reator Tokamak
Um potente Eletroímã produz um campo magnético toroidal, gerando plasma.

Fonte: Adaptado de FGV, 2015: 20.

Vale ainda salientar que todas as instalações nucleares sejam elas destinadas à pesquisa, produção de radioisótopos ou reatores de potência, instaladas em países seguidores do Tratado⁵ de Não Proliferação Nuclear das armas nucleares, tal como o Brasil, são fiscalizadas e regulamentadas não só internamente como pela AIEA.

⁵ O Tratado de Não Proliferação Nuclear tem por objetivo evitar uma guerra nuclear e instaurar uma cooperação internacional para a utilização civil da energia nuclear. (OBJETIVO, 2017).

3. BENEFÍCIOS DA ENERGIA NUCLEAR

3.1 Benefícios da Energia Nuclear

Até a década de 1950, as buscas e avanços tecnológicos na indústria nuclear eram de cunho exclusivamente bélico. Então, outras nações, como a antiga URSS, Alemanha, França, dentre outras, deram novas perspectivas às tecnologias nucleares; dentre as quais, o uso civil. Essa nova forma de utilização da energia nuclear ocorreu apesar dos entraves e limitações impostas pelos Estados Unidos, que impediam o intercâmbio científico tecnológico e a cooperação no campo nuclear, estes seguiram. (CABRAL, 2012(b)).

Então, partiu-se para uma nova etapa de pesquisas na área nuclear. Para que tais pesquisas seguissem, um primeiro passo rumo à importante mudança da percepção pública foi dado: o discurso “Átomos para a Paz” do então presidente dos Estados Unidos *Eisenhower*(1953-1961), apresentado na Assembleia Geral da ONU, em 1953. Com ele o presidente estabeleceu que a energia nuclear tivesse outras aplicações senão as militares. (CABRAL, 2012(b)).

Em uma explanação sobre o Programa Nuclear Brasileiro, intitulada “Programa Nuclear Brasileiro: Passado, Presente e Futuro”, de Odair Dias Gonçalves membro da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Diz que os principais benefícios e impactos positivos da implementação das tecnologias nucleares no Brasil são:

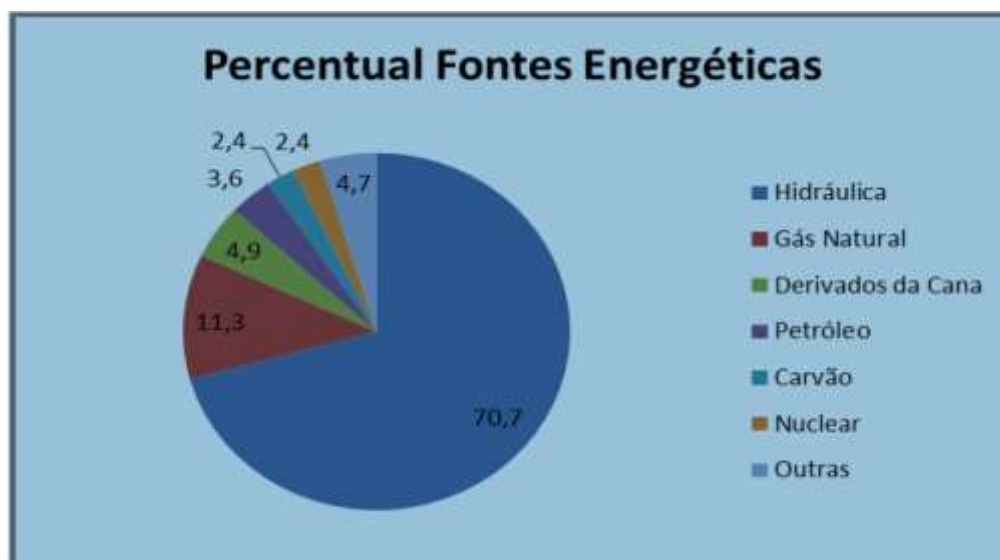
- Equilíbrio da Matriz Energética;
- Acesso da População aos benefícios da tecnologia nuclear aplicada à Medicina;
- Ampliação do uso de tecnologia nuclear na indústria, incorporando valor;
- Geração de empregos;
- Soberania nacional e acesso a mercados internacionais.

Cabral (2012(a):101) diz que:

A diversificação dos usos da energia nuclear- de seus componentes de risco - podem ser atualmente agrupados em cinco setores: (a) medicina; (b) militar; (c) pesquisa;(d) indústria; e (e) energia elétrica.

É de comum conhecimento que a matriz energética brasileira é composta principalmente por fontes consideradas renováveis, tendo como pilar a energia das hidrelétricas. Como demonstrado no gráfico a seguir:

Gráfico 2: Percentual participativo das diferentes fontes de energia no Brasil



Fonte: DE LIRA, 2015.

Contudo, a regularização das hidrelétricas tem sido inviabilizada devido às exigências dos órgãos ambientais e pressões externas. Essas regulações ocorrem devido ao fato que os potenciais hídricos ainda inexplorados no Brasil se encontram na região da Amazônia, e lá estão localizadas reservas importantes de fauna e flora bem como reservas indígenas. (GONÇALVES, 2009).

Tendo em vista essas dificuldades enfrentadas pelas hidrelétricas faz-se necessária uma nova fonte consistente de eletricidade. Como recurso imediato tem-se as termelétricas, que tradicionalmente são movidas a carvão ou derivados do petróleo, com implicações prejudiciais ao meio ambiente.

A geração de energia elétrica através da Tecnologia Nuclear tem se consolidado entre as principais fontes térmicas no país e, nessa perspectiva, o Planejamento Energético prevê a ampliação de até 8.000 MW a partir de usinas nucleares no horizonte de 2030. (DOS SANTOS, 2014).

E, no cenário mundial segundo DE LIRA (2015:15)

16% da energia elétrica no mundo é gerada através de fonte nuclear e este percentual tende a crescer com a construção de novas usinas, principalmente nos países em desenvolvimento(China, Índia, etc).

Como o Brasil é um dos seletos países que domina o ciclo do combustível usado nas eletronucleares, da mineração ao enriquecimento. E, ocupa a 5^o posição no ranking mundial de reserva de urânio com as 309 mil toneladas, representado 5,3% do total. (MME, 2016).

Segundo Gonçalves (2009:2):

O Brasil é hoje um dos poucos países do mundo a dominar todo o processo de fabricação de combustível para usinas nucleares e um dos três, ao lado de Estados Unidos e Rússia, a dominar o processo de enriquecimento e a ter reservas significativas de urânio.

Por fim, a energia nuclear como substituta direta das termelétricas tradicionais, menos poluente, eficiente e segura é uma fonte energética que pode trazer equilíbrio à matriz energética brasileira. (ALMEIDA, 2011).

Dentre as linhas de pesquisa e ação do Programa Nuclear Brasileiro (PNB) destaca-se a produção de radiofármacos. Estes são aplicados nos tratamentos oncológicos e cardiológicos. E, no Brasil são atendidos anualmente cerca de 3600 procedimentos pela medicina nuclear.

Alguns desses radiofármacos são produzidos pelo Instituto de Pesquisas em Energia Nuclear (IPEN, vinculado ao CNEN). São eles o de Gálio-67, Tálcio-201, Iodo-123 e Flúor-18 (FDG), produzidos também no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), também vinculado ao CNEN. (GONÇALVES, 2009).

As implicações das tecnologias nucleares aplicadas na medicina possuem importância tanto direta, produção de radiofármacos, quanto indireta com reflexos expressivos na economia.

Por exemplo, o Brasil não produz os radioisótopos Mo-99⁶ (Molibdênio-99) e o Tc-99m (Tecnécio-99m), assim, o importa através do IPEN com custos de 20 milhões de dólares por ano. GONÇALVES, 2009.

Dos efeitos da tecnologia nuclear na indústria, vale afirmar que assim que o

⁶ O Molibdênio 99, um isótopo obtido a partir da fissão do urânio e insumo básico na fabricação de geradores de tecnécio 99m, fundamentais em uma série de exames de radiodiagnóstico.

uso desta for ampliado/consolidado isso implicará em elevação de valores agregados, na geração de emprego e em soberania nacional com o domínio sobre tecnologias e mercados restritos às poucas nações dominantes.

A exemplo do citado acima estão as aplicações na agricultura em benefício tanto dos processos produtivos, como na conservação dos produtos já prontos para o consumo. Como consta em DE LIRA(2015:29) apud. (GONÇALVES, ALMEIDA, 2005).

Nas plantas os estudos com radioisótopos permitem avaliar a absorção de nutrientes, enquanto que nos estudos dos solos, através das análises com radioisótopos é possível observar os processos de infiltração de água no solo, bem como o processo de filtração, sendo possível analisar a qualidade do solo e articular medidas para melhora da produtividade. Ainda é possível através do processo de irradiação de alimentos, aumentar a vida útil de frutas e verduras, já que este processo elimina microrganismos.

3.2 A Percepção Pública Quanto à Energia Nuclear

Segundo Cabral (2012(a):114):

O tema: energia nuclear, no que se refere aos riscos não é tratado abertamente com pessoas que não participam diretamente do setor. Esse temor é justificado, pois a distorção na comunicação dos riscos tem efeitos na percepção pública provocando rejeição da tecnologia nuclear, afetando negativamente a imagem do setor e de entidades envolvidas, podendo colocar em risco operações rotineiras, atrasando licenciamentos ou mesmo causando paralisações (para investigação de denúncias) com rebatimentos em toda uma cadeia de decisões e criando ambientes de riscos estratégicos, que podem comprometer inclusive o futuro da indústria nuclear brasileira.

Foi a partir da segunda metade do século passado que os avanços na ciência e tecnologia passaram a ser uma questão de opinião pública ou social. O marco dessa mudança foram as explosões das bombas em Hiroshima e Nagasaki. (ALMEIDA, 2011).

No Brasil a preocupação com a comunicação ao público alheio às tecnologias nucleares surgiu após o acidente de Goiânia. De lá pesquisas vêm sendo realizadas por instituições e centros tecnológicos de pesquisa e apresentadas em eventos

científicos por meio de cursos, apostilas informativas digitais. Contudo não são capazes de extinguir os impactos negativos causados por um acidente nuclear. (CABRAL, 2012(a):114).

Segundo a literatura, a percepção pública a respeito das tecnologias nucleares se mostra superficial em decorrência da escassez de estudos relativos a este assunto. Em geral as informações sobre esta área são veiculadas pela imprensa que por sua vez é tendenciosa aos desastres, visto que, estes possuem maior visibilidade. (PRÄSS, 2007).

No entanto, algumas pesquisas realizadas, geralmente baseadas em questionários, onde são levantados dados a respeito do que a população entende sobre usinas nucleares, tanto das vantagens quanto desvantagens, bem como a perspectiva de futuro para tais tecnologias.

Numa pesquisa realizada pela OECD da AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em 2010, foi avaliada a percepção pública, tanto em países que utilizam as usinas nucleares em suas matrizes energéticas, quanto nos outros. Como resultado dessa pesquisa, 34% da população considerou que as usinas existentes devem permanecer em funcionamento, porém, sem a construção de novas usinas. E, 25% afirmam que as usinas nucleares devem ser desativadas.

Nesta mesma pesquisa verificou se que 59% da população dos 18 países da amostra são contrários à implementação de novas usinas em seus países. Das percepções de riscos dos entrevistados, estes citaram principalmente riscos de segurança vinculados a ataques terroristas. E, como benefícios, citaram as implicações da fonte nuclear de eletricidade como fonte limpa, a par das mudanças climáticas.

Outra pesquisa realizada foi a de Präss (2007). Como resultados foram verificados que as vantagens mais recorrentemente citadas são: pequeno impacto ambiental; não contribui para o efeito estufa; muita energia com pouco combustível; impulsiona desenvolvimento tecnológico e aplicações médicas. E que as desvantagens ou aspectos negativos principais são: risco de acidentes graves; lixo atômico; produção de armas; gasto com armazenagem do lixo radioativo.

Em estudo realizado em cidades do estado do Rio de Janeiro por Almeida (2011), no qual a principal faixa etária a responder à pesquisa foi de 50 a 65 anos;

principal nível de escolaridade o de pós-graduação; e, sexo, o masculino. Neste estudo foram feitos levantamentos quanto: às fontes energéticas do Brasil e a percepção dos benefícios/desvantagens da energia nuclear e seus rejeitos. Neste estudo, verifica-se que na perspectiva dos entrevistados quanto às fontes energéticas do Brasil, as Usinas Hidrelétricas, Solar e Nuclear são os três mais recorrentes, em ordem decrescente de importância. Com isso, nota-se que as usinas nucleares são de conhecimento e aceitação de relevância provada para a sociedade em análise.

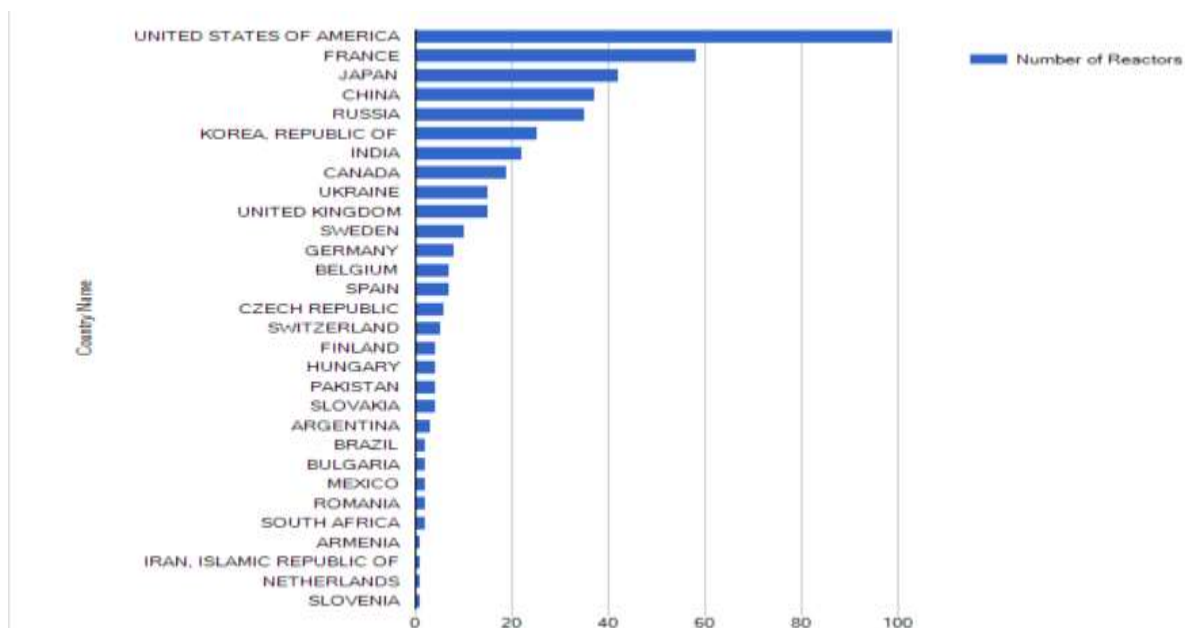
Quanto aos benefícios/desvantagens da energia nuclear 47% das pessoas entrevistadas diz que a energia nuclear traz tanto benefícios quanto desvantagens. Em análise mais detalhada, nota-se que a maioria dos entrevistados acredita nas vantagens trazidas pelas usinas nucleares, sendo citadas principalmente as aplicações na medicina, setor elétrico e as vantagens ambientais frente às demais fontes. Quanto aos depósitos de rejeitos radioativos, 44,9% dos entrevistados se mostra contra a construção destes. (ALMEIDA, 2011).

Em 2016 Milanez (et. al., 2016:5), numa pesquisa sobre a percepção pública quanto às tecnologias nucleares (vantagens e desvantagens), chegou à seguinte conclusão:

Embora apontem deficiências na energia nuclear, não há entre as pessoas exatamente preconceito, embora pela mídia se tenha às vezes impressão diferente; mais de 60% são favoráveis a investimento nacional em pesquisa de geração nuclear mais limpa e segura.

Hoje existem 452 reatores nucleares de potência em operação no mundo e 60 em construção. A distribuição destes reatores em operação e os em construção, sendo que a maioria destes, ao menos em magnitude de importância para o suprimento de energia, está situada na União Europeia e Nos Estados Unidos, como demonstrado no gráfico abaixo:

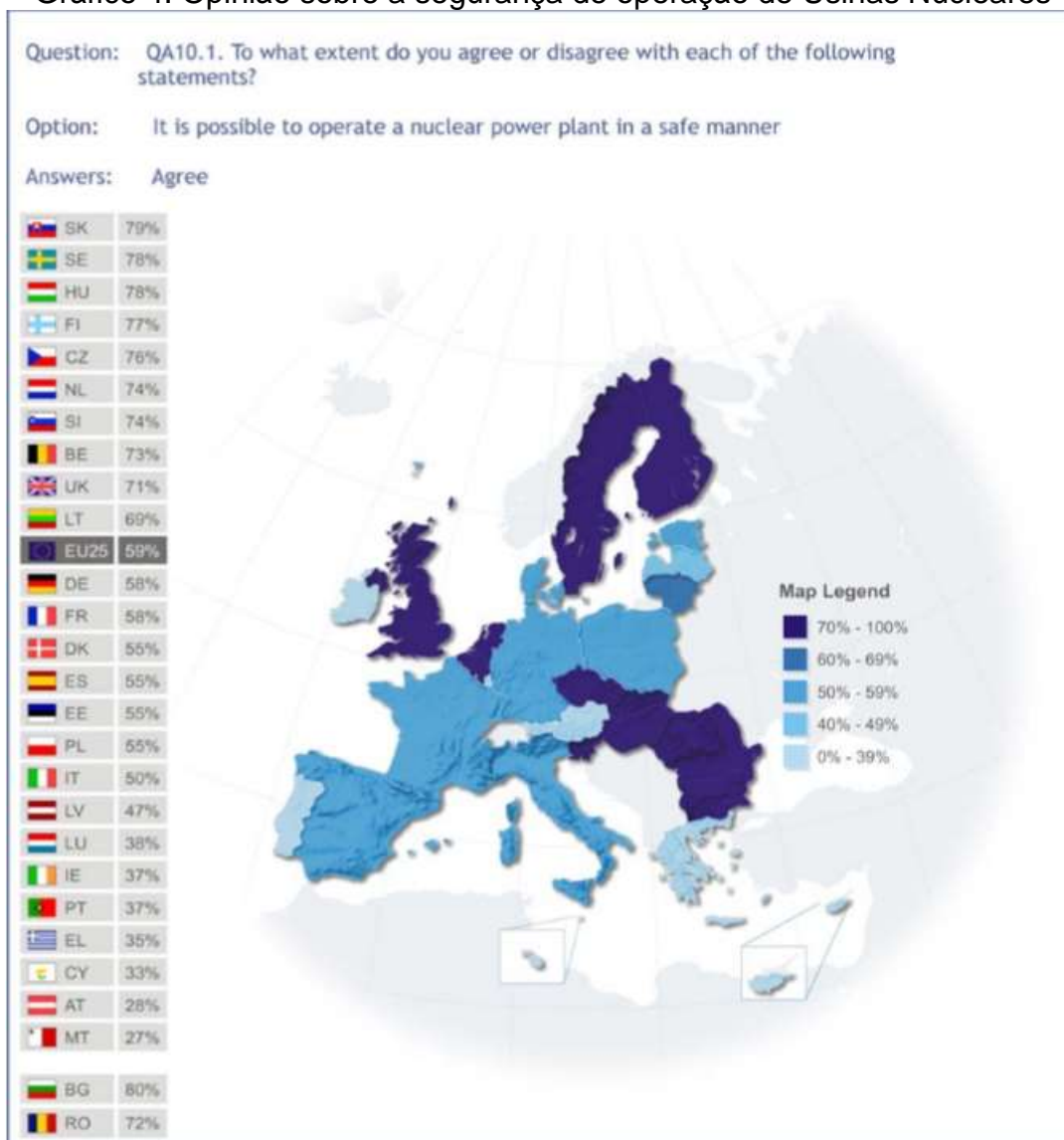
Gráfico 3: Distribuição Global dos Reactores de Potência



Fonte: COMISSÃO EUROPEIA, 2007.

Em outro gráfico resultado de uma pesquisa de opinião feita pela Comissão Europeia (2007: 25) mostra que as pessoas que moram em cidades próximas ou junto às usinas nucleares acreditam que estas sejam seguras. Como demonstrado a seguir:

Gráfico 4: Opinião sobre a segurança de operação de Usinas Nucleares



Fonte: COMISSÃO EUROPEIA, 2007.

Cruzando as informações disponíveis nos gráficos acima, verifica-se que nos países onde se concentram a maior parte das usinas nucleares são também aqueles em que o público tem maior fé quanto à segurança de operação dos reatores. Isso remete a crer que estas instalações têm passado tanto segurança quanto provido benefícios a estas populações.

4. REGRESSÃO LOGÍSTICA

A regressão Logística (RL) é um método de análise de dados que admite a aplicação de um modelo de regressão para se calcular ou prever a probabilidade de um evento específico. Diferencia-se dos demais métodos de análise por permitir que sejam avaliadas variáveis qualitativas expressas por duas ou mais categorias, contém dois ou mais significados. (FIGUEIRA, 2006: 67).

As categorias(ou valores) que a variável dependente assume podem possuir natureza nominal ou ordinal. Em caso de natureza ordinal, há uma ordem natural entre as possíveis categorias e, então tem-se o contexto de Regressão Logística Ordinal. Quando esta ordem não existe entre as categorias da variável independente assume-se o contexto da Regressão Logística Nominal.

A RL procura firmar a maneira com uma variável aleatória, dependente ou de resposta talvez venha a se portar mediante as outras variáveis aleatórias, também chamadas de variáveis independentes ou explicativas. (FRANCO, 2017:37). Neste trabalho será avaliado o quão iterado sobre os benefícios e aplicações da energia nuclear a sociedade acadêmica brasileira se mostra, com base nas informações obtidas com a pesquisa aplicada.

A RL como função de regressão pertence à classe dos modelos estatísticos, em que a variável explicada é, na verdade, qualitativa, ou, sendo quantitativa, dela apenas se pode observar manifestação de caráter qualitativo (OLIVEIRA, 1997). O objetivo desses modelos é refletir uma escolha entre duas alternativas, do tipo “sim ou não”, “isto ou aquilo”, “existe ou não existe”, respostas estas marcadas pelo seu caráter de alta objetividade. (FRANCO, 2017:40).

O método de RL pode ser classificado como Regressão Logística Binária, ou Regressão Logística Múltipla e Regressão Logística Multinomial. Na primeira, a variável aleatória que representa as respostas do entrevistado, possui apenas dois possíveis resultados 0, para quando a resposta for falsa, e 1 para quando a resposta for verdadeira. Na segunda a variável aleatória também possui apenas dois resultados, iguais aos da primeira, porém, as respostas podem vir a depender de

outras variáveis independentes. Por último, na Regressão Logística Multinomial a variável aleatória, pode ter mais de dois resultados. (FIGUEIRA, 2006: 67,82,88).

Como no questionário aplicado para este trabalho as questões em sua maioria possuem mais de uma resposta será adotado o método de RL Multinomial. E com isso segue-se o passo a passo a ser seguido a fim de que se aplique o método corretamente. Seguindo as instruções constadas no Anexo II do presente trabalho, que trata da solução do Exemplo 2.3 de (FIGUEIRA, 2006: 88-95).

5. METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma abordagem teórica histórica, científica descritiva das tecnologias nucleares e em uma pesquisa qualitativa e quantitativa sobre a opinião da comunidade acadêmica, da Faculdade de Engenharias do Gama (FGA) da Universidade de Brasília (UnB), quanto às tecnologias nucleares e suas implicações.

Quanto à natureza, a pesquisa realizada é classificada como pesquisa aplicada, pois o objetivo é gerar dados que serão utilizados na elaboração de uma proposta de solução de um problema específico. Classificada como descritiva e exploratória quanto aos seus objetivos e, quanto ao procedimento a pesquisa é classificada como documental e de levantamento.

Para que fossem cumpridos os objetivos do presente trabalho. Primeiramente fora realizada uma abordagem teórica, construído um referencial teórico, onde a bibliografia de referência foi escolhida de acordo com os temas e autores. A busca pelas referências utilizadas foi realizada através das ferramentas de busca Portal de Periódicos da Capes, pelo Google Acadêmico e em plataformas sítios em inglês.

Os temas, aqueles voltados ao assunto energia nuclear com abordagem específica aos tópicos: histórico das usinas nucleares; tipos de reatores nucleares e seus sistemas de segurança; aplicações da engenharia nuclear; benefícios da engenharia nuclear; teoria das reações de fissão; pesquisas da visão populacional a respeito da engenharia nuclear; perspectivas da engenharia nuclear e regressão logística. Estes temas foram inseridos nas ferramentas de busca acima citadas tanto em português quanto em inglês.

Os autores foram escolhidos por suas publicações pelos temas ou tópicos acima citados. Com foco naqueles mais recorrentes na bibliografia como CABRAL, PRASS, DOS SANTOS RESENDE, AIEA, CNEN, ALMEIDA, GONÇALVES, GOLDEMBERG, DE LIRA, EC, FGV e FIGUIERA.

Para elaboração do questionário foram seguidos os seguintes passos:

- Levantamento de questões e construção do questionário;
- Pré-teste ou validação do questionário;
- Ajustes;
- Definição da amostra;

- Construção da amostra;

O levantamento das questões, bem como a construção do questionário foram feitos com base em pesquisas de opiniões já realizadas. Isso porque, as questões destas pesquisas já haviam sido validadas. Os questionários utilizados como base foram os dos trabalhos de ALMEIDA, de CABRAL e de MILANEZ.

No pré-teste foram aplicadas cópias do questionário a 5 alunos, cada um de uma das cinco áreas de engenharia da FGA, e para alguns docentes. Fora solicitados a estes que dessem suas opiniões a respeito do questionário quanto à disposição e à clareza das questões bem como possíveis ajustes necessários.

Com base nas opiniões dos entrevistados no pré-teste foram ajustadas as questões e feitas às devidas correções, concluindo assim o questionário.

Após a elaboração do questionário partiu-se para a definição da amostra a qual ser aplicado o questionário. Para isso utilizou-se o seguinte algoritmo:

- Levantamento da população amostral;
- Estratificação da amostra;

A amostra fora tomada da população de discentes da FGA. Os dados foram conseguidos mediante solicitação junto à secretaria administrativa acadêmica da FGA. No relatório conseguido vieram dispostas as quantidades de alunos de cada curso, as quantidades de aluno de cada sexo e a quantidade de alunos que ainda não escolheram qual curso irão cursar. Esses dados podem ser vistos na tabela a seguir:

Tabela 3: População discente da FGA do primeiro semestre de 2017.

Curso	Masculino	Feminino	Total
Engenharia	686	185	871
Aeroespacial	202	59	261
Software	363	57	420
Automotiva	173	15	188
Energia	150	124	274
Eletrônica	304	87	391
Total	1878	527	2405

Fonte: Secretaria Administrativa Acadêmica da FGA, 2017.

À mão destas informações fora feita a estratificação da amostra a ser tomada

utilizando a fórmula de *Barbetta* aplicando um erro de 8% e, acrescido ao percentual de cada curso seu equivalente no que tange aos discentes que ainda não escolheram qual área seguir. Feitos os devidos cálculos, sendo que a amostra total é de 2405 alunos, obteve-se o seguinte quadro amostral, apresentado na tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Amostra estratificada.

Curso	Masculino	Feminino	Total	Percentual Dentre a amostra
Aeroespacial	19	6	25	17%
Software	34	6	40	27.%
Automotiva	16	3	19	13%
Energia	15	11	26	18%
Eletrônica	29	8	37	25%
Total	113	34	147	100%

Fonte: FONSECA 2017.

Após a identificação e estratificação da amostra partiu-se para aplicação do questionário. A aplicação do questionário fora feita pessoalmente pelo autor visando maior fidelidade aos critérios estatísticos.

Quanto à análise de dados é feita uma abordagem descritiva nessa primeira versão do trabalho. Na continuação do trabalho será feita uma análise estatística quantitativa e qualitativa utilizando o software SPSS e os critérios da metodologia de regressão logística multinomial.

Na análise de dados realizadas no próximo capítulo desta monografia será feita uma análise descritiva dos dados coletados em forma de gráficos de barra e pizza. Os gráficos de barra serão utilizados para representar questões que possuam até 4 alternativas e o de barras para os demais, a fim de melhor dispor os dados.

A análise de dados apresentada é uma análise quantitativa das respostas obtidas ao questionário. Esta análise é feita comparando os valores e percentuais dos dados de recorrência a cada item das questões do questionário pelas amostra de cada curso paralelamente.

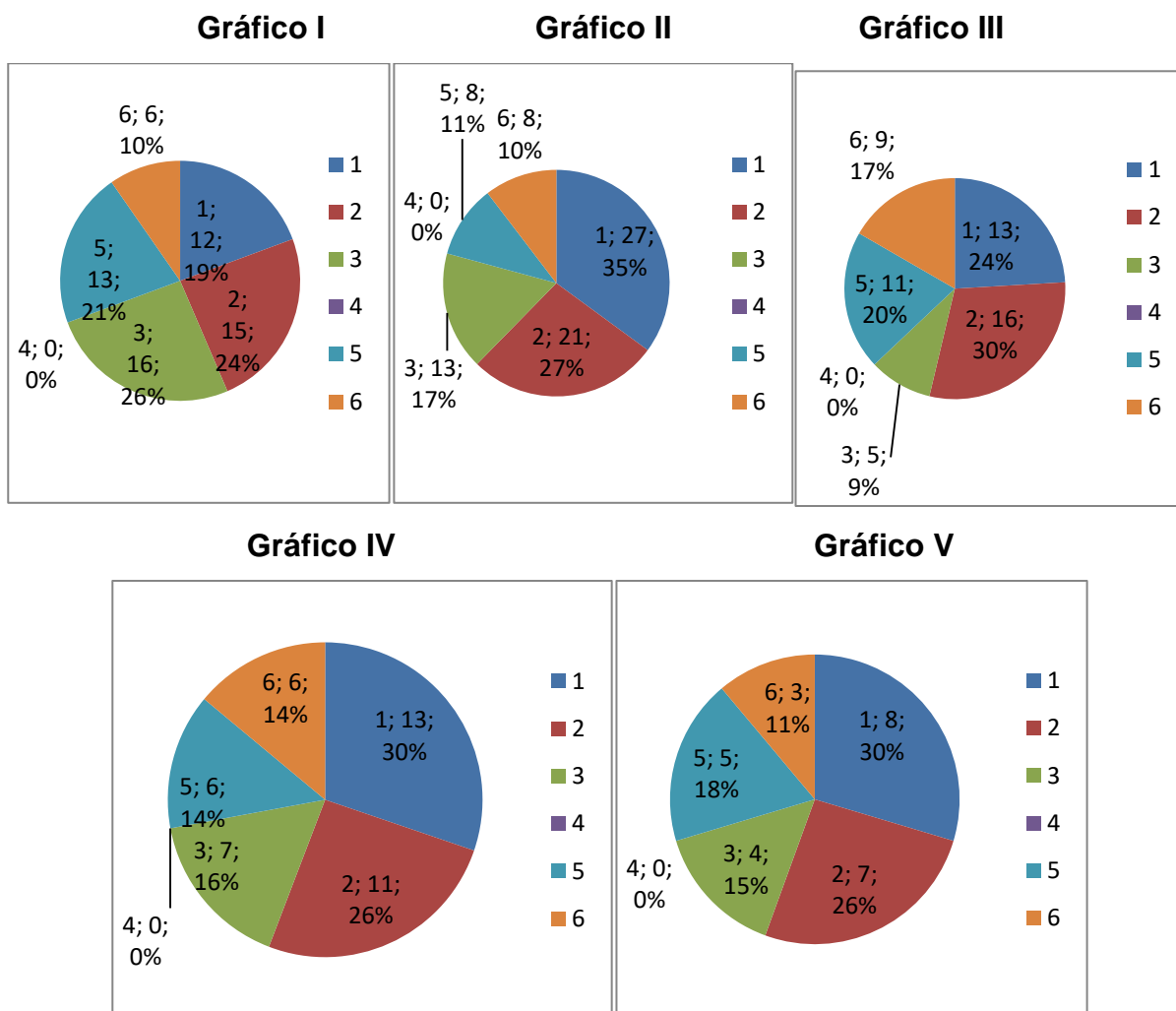
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aqui serão apresentados os resultados adquiridos com a pesquisa de opinião realizada com amostra de graduandos de engenharia da FGA-UnB. Vale salientar que é apresentada apenas uma análise quantitativa à primeira instância e, que a análise completa será feita na segunda etapa do desenvolvimento do presente projeto.

Os gráficos apresentados em seguida estarão dispostos por questões(de 1 a 15) e por curso(Eng. Aeroespacial, Eng, de Software, Eng. Eletrônica, Eng. de Energia e Eng. Automotiva. Quanto as legendas dos gráficos estas estão dispostas em números sendo que cada número representa o item referente à questão a qual o gráfico retrata.

6.1 Análises das Questões 01 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 1 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



No que concerne á numeração da legenda esta se refere aos itens da questão 1 do questionário, “**Questão 1: O que você pensa quando ouve a palavra RADIAÇÃO?**” tem-se:

- 1= Contaminação
- 2= Usina Nuclear
- 3= Bomba atômica
- 4= Não sei
- 5= Outro
- 6= Acidentes

Do gráfico I se nota que o maior percentual das respostas é para o item 3 da questão 1 seguido pelos itens 2, 5, 1, 6 e por último o item 4(sem expressividade). Pode se inferir então, que os alunos de EA relacionam a palavra radiação às aplicações mais conhecidas e principais da energia nuclear que são a produção de

artefatos nucleares e as usinas nucleares.

No gráfico II verifica-se que as respostas à questão 1 dadas pelos alunos de ES podem ser citadas em ordem crescente de recorrência como 1, 2, 3, 5, 6 e 4(sem expressividade). Com base nessas respostas se pode inferir que os alunos de ES estão predispostos a relacionar o termo radiação às expressões Contaminação, Usina Nuclear e Bomba Atômica, principalmente.

Do gráfico III, nota-se que a ordem de grandeza das respostas dos alunos de EEI à questão 1 se dá na seguinte sequência ordem 2, 1, 5, 6, 3 e 4(sem expressividade). Com esses índices infere-se que os alunos de EEL associam a palavra radiação principalmente às aplicações da energia nuclear e também aos possíveis impactos negativos que estas podem levar.

Com o gráfico IV, resposta dos alunos de EE à questão 1 verifica-se que estes alunos estão predispostos a associar a palavra radiação aos termos Contaminação, Usinas Nucleares, Bomba Atômica e Acidentes, em ordem crescente de magnitude.

Por último, do gráfico V se nota que os alunos de EAU associam o termo radiação às palavras Contaminação, Usinas Nucleares, Outros, Bomba Atômica, Acidentes e Não sei, em ordem crescente de magnitude.

Ao verificar a recorrência das respostas à questão 1, se nota que os discentes de maneira geral associam o termo radiação às aplicações da energia nuclear(Usinas e Artefatos) e às possíveis consequências negativas das tecnologias nucleares, acidentes e contaminação. Sendo que para o primeiro são 21,6% em média e 20% associam o termo às consequências.

6.2 Análises das Questões 02 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 2 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

Gráfico 1

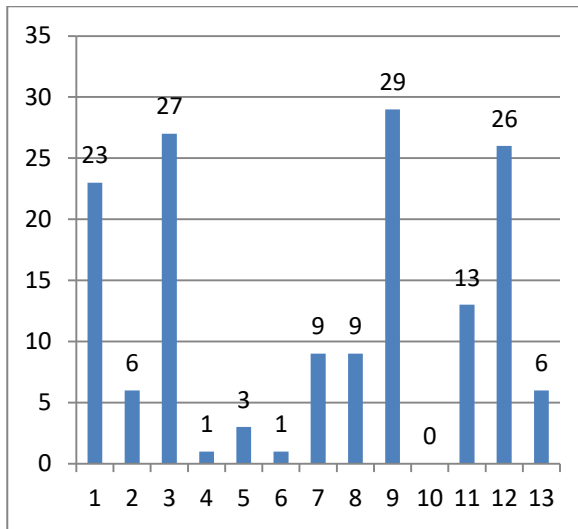


Gráfico 2

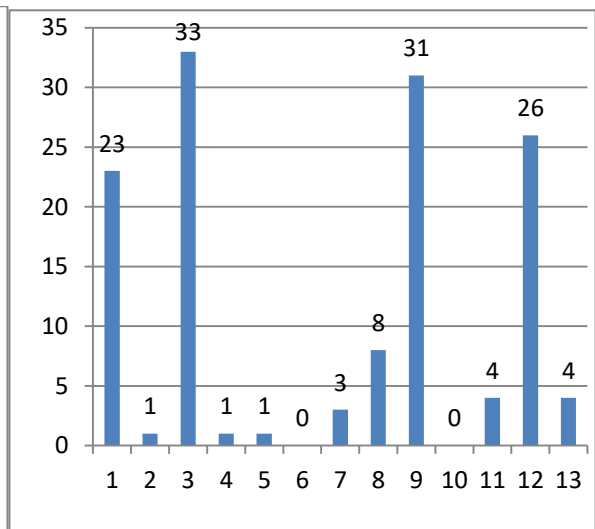


Gráfico 3

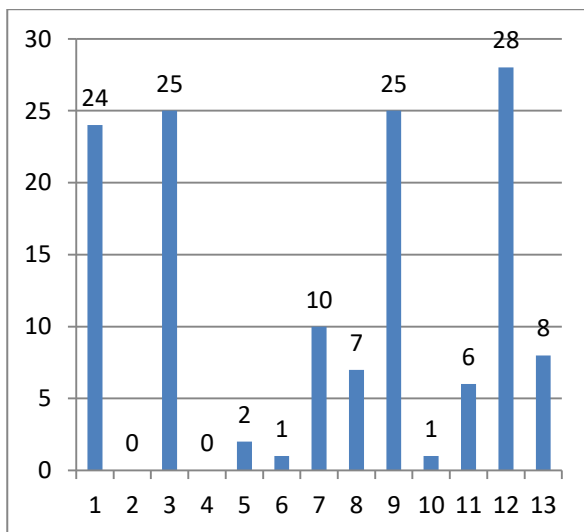


Gráfico 4

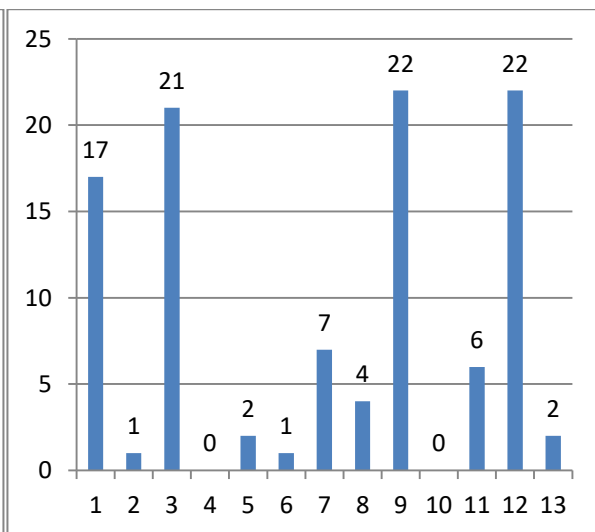
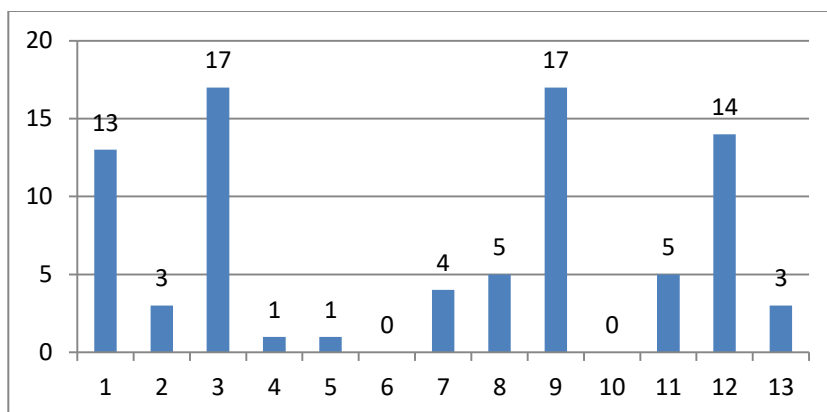


Gráfico 5



A numeração da legenda ou do eixo horizontal refere-se aos itens da questão 2 do questionário, “**Questão 2: Quais aplicações da Energia Nuclear você conhece?**” tem-se:

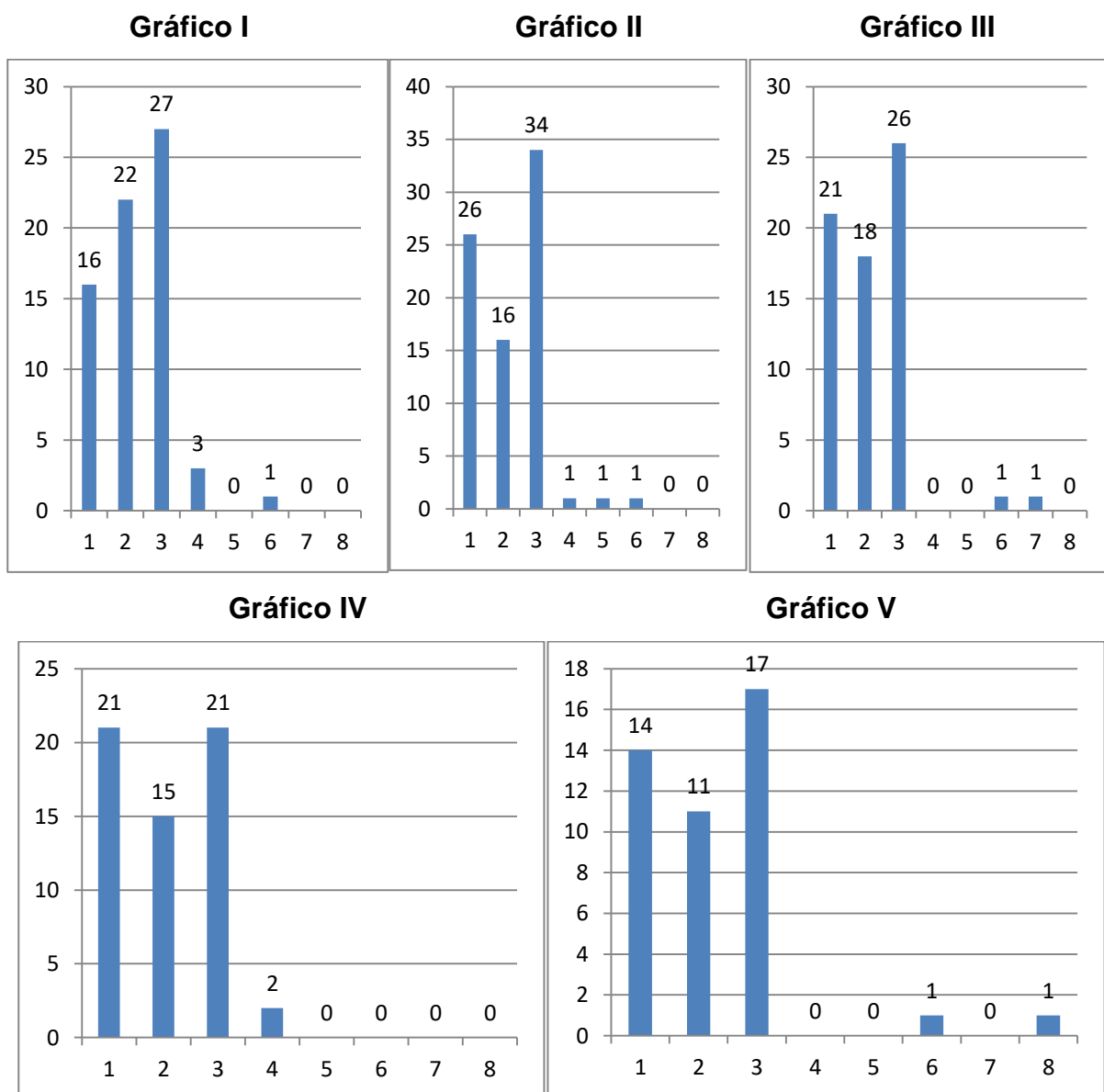
- 1= Tratamento para cura de câncer e diversos tumores
- 2= Dessalinização da água
- 3= Combustível Nuclear
- 4= Tratamento de Gases Tóxicos
- 5= Tratamento de Águas
- 6= Cura de tintas e vernizes
- 7= Esterilização de instrumentação médica e odontológica
- 8= Irradiação de alimentos
- 9= Geração de energia elétrica
- 10= Irradiação de látex
- 11= Diagnóstico e tratamento da tireoide
- 12= Fins bélicos
- 13= Melhoria das propriedades de materiais industrializados

No gráfico 1, as respostas dos alunos de EA, verifica-se que a maioria dos entrevistados recorreu aos itens 1, 3, 9 e 11. Do gráfico 2, alunos de ES, a recorrência fora semelhante à do gráfico 1, porém se nota uma sobressalência ao item 3. Quanto às respostas dos alunos de EEL, estas assim como as anteriores, foram mais expressivas para com os itens 1, 3, 9 e 12. Havendo um equilíbrio entre os itens 3 e 9 e um sobressalto no item 12. Os alunos de EE mantiveram os índices em destaque anteriores, com singularidade na equiparação entre os itens 9 e 12. Já os alunos de EAU, apesar de citarem principalmente os mesmos itens que as outras engenharias, mostraram entendimento equivalente nos itens 3 e 9.

Apesar de haverem citações de outras aplicações da energia nuclear os estudantes, ao recorrerem principalmente aos termos tratamento de câncer, combustível nuclear, geração de energia elétrica e fins bélicos como respostas à questão 2, demonstram possuírem apenas o conhecimento comum ao que tange as aplicações da energia nuclear.

6.3 Análises das Questões 03 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 3 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



A legenda esta representada polos rótulos do eixo horizontal de cada gráfico

e se refere aos itens da questão 3 do questionário, “**Questão 3: Quais as vantagens da Energia Nuclear você conhece?**” tem-se:

- 1= Evolução tecnológica de áreas diversas
- 2= Avanços na área médica
- 3= Forma de energia para o futuro
- 4= Não sei
- 5= Não há
- 6= Outros, especifique.
- 7= Primeira Citação
- 8= Segunda citação

Nesta questão é verificado que de maneira geral os representantes dos 5 cursos optaram pelas alternativas 1, 2 e 3. Isso remete que os discentes acreditam no potencial positivo da energia nuclear. Nota-se que nos gráficos 3 e 5 houve a opção pela alternativa 6 e conseqüentemente uma citação para alternativa 7 e 8. As alternativas 7 e 8 compreendem respectivamente Células de Energia e Poder Bélico, como citado pelos entrevistados.

6.4 Análises das Questões 04 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 4 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

Gráfico 1

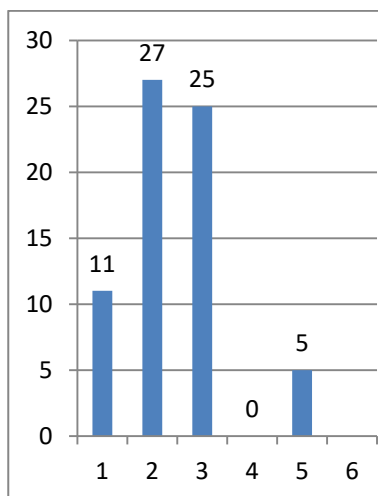


Gráfico 2

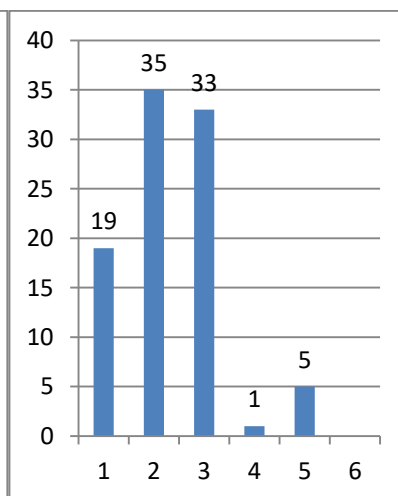


Gráfico 3

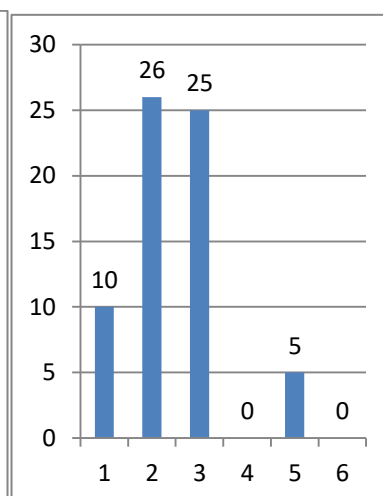


Gráfico 4

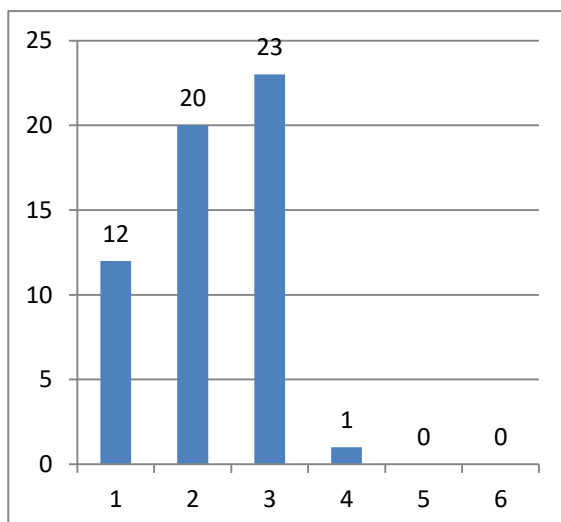
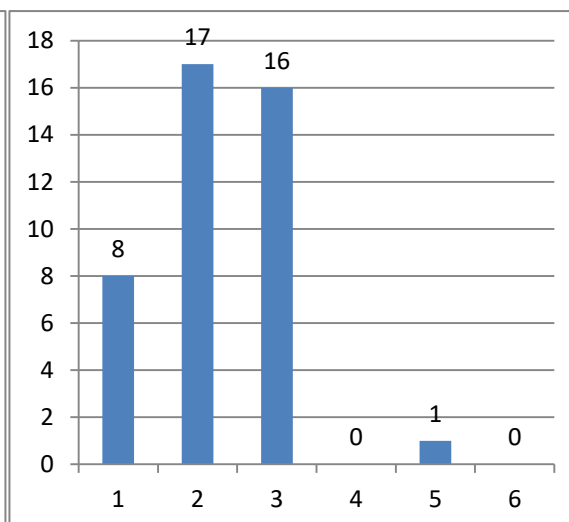


Gráfico 5



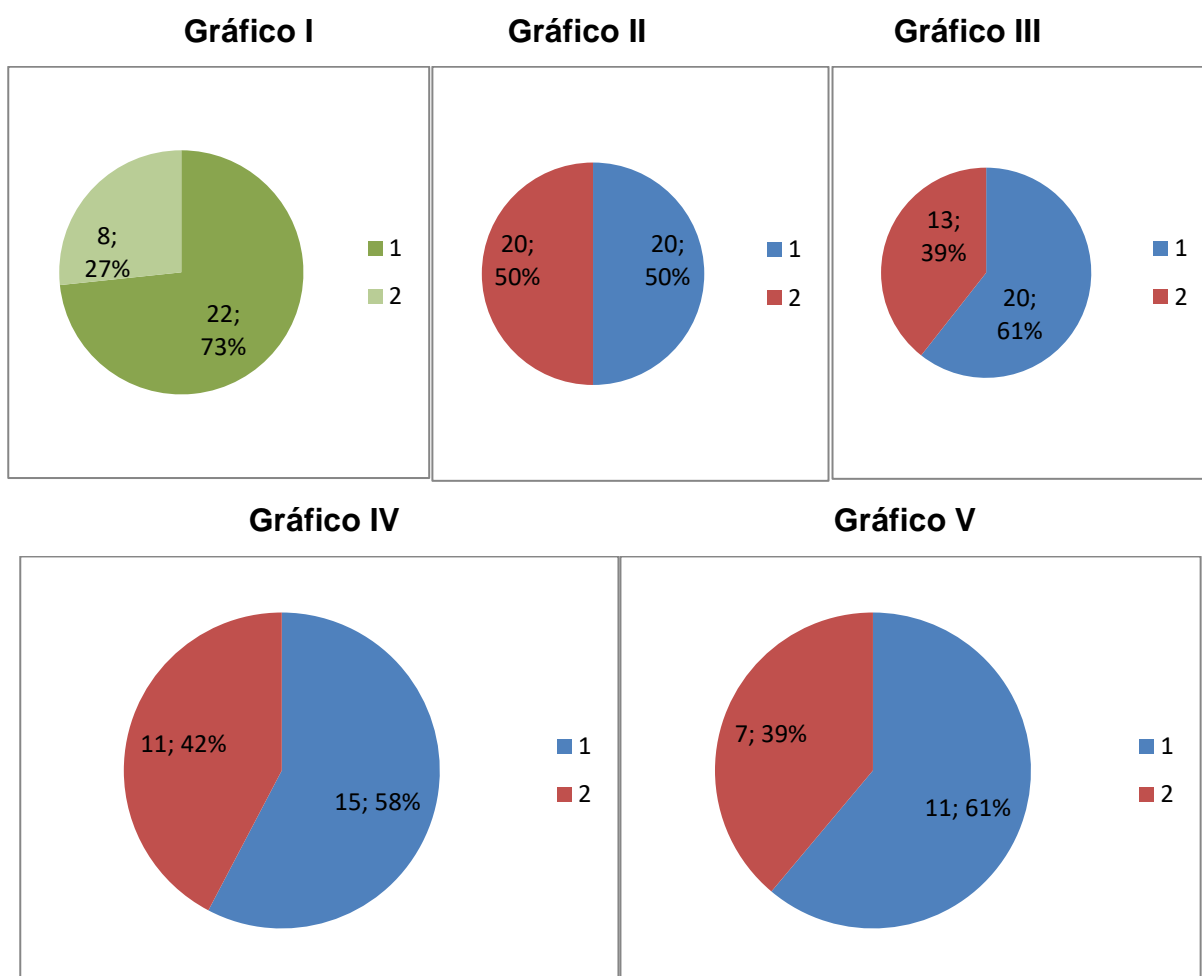
No que tange á numeração da legenda esta se refere às alternativas da questão 4 do questionário, “**Questão 4: Quais as desvantagens da energia nuclear?**” tem-se:

- 1= Explosão;
- 2= Lixo Nuclear;
- 3= Contaminação;
- 4= Não sei;
- 5= Outros;

Os representantes do curso AE(Gráfico I), citaram como desvantagens os itens 2, 3, 1 e 5, em ordem respectiva de magnitude, sendo mais expressivos nos itens 2 e 3. Da ES citaram 2, 3, 1, 5 e 4 respectivamente em ordem crescente de recorrência, com expressividade maior vista nos itens 2 e 3. O mesmo ocorre com as respostas dos alunos de EEL, exceto pelo item 4 que não fora citado. Os discentes de EE citam os itens 3, 2, 1 e 4 em ordem. E, os estudantes de EAU citam os itens 2, 3, 1 e 5. Ao citar o item 4 mostra que dentre os estudantes há ainda quem desconheça por completo as implicações negativas da energia nuclear. E, com citação recorrente ao item 5 é demonstrado que há ainda outros pontos negativos da energia nuclear fora os principais representados pelos itens 1, 2 e 3.

6.5 Análises das Questões 05 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 5 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



No que concerne á numeração da legenda esta se refere aos itens da questão 4 do questionário, “**Questão 5: Você tem conhecimento dos reatores nucleares que existem no Brasil?**” tem-se:

- 1= Sim;
- 2= Não

Nesta questão é verificado o conhecimento dos estudantes de cada curso

quanto à existência de reatores nucleares no Brasil. É verificado no gráfico I que 73% dos estudantes de EA sabem sobre a existência dos reatores, e 27% não sabem(gráfico I). Os discentes do curso de ES 50% sabem sobre a existência e 50% não sabem(gráfico II). Dos de EEL 61% sabem da existência e 39% não sabem (gráfico III). Na EE 58% dos estudantes sabem dos reatores nucleares e 42% não sabem. Por último, dos discentes de EAU 61% sabem sobre a existência de reatores no Brasil e 39% não os conhece.

Dessas informações pode-se inferir que apesar de a maioria dos discentes conhecerem sobre os reatores nucleares brasileiros, é expressivo o percentual destes que o desconhecem. Outro índice importante é que os discentes de engenharia de energia são os segundo em ordem crescente de conhecimento da existência dos reatores no Brasil ficando à frente apenas dos discentes de engenharia de software.

6.6 Análises das Questões 06 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 6 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

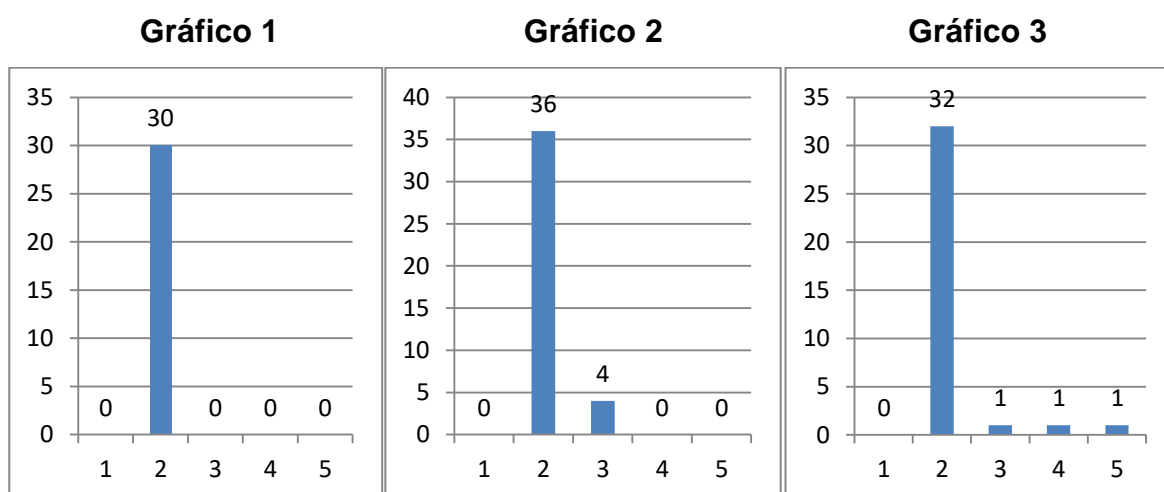


Gráfico 4

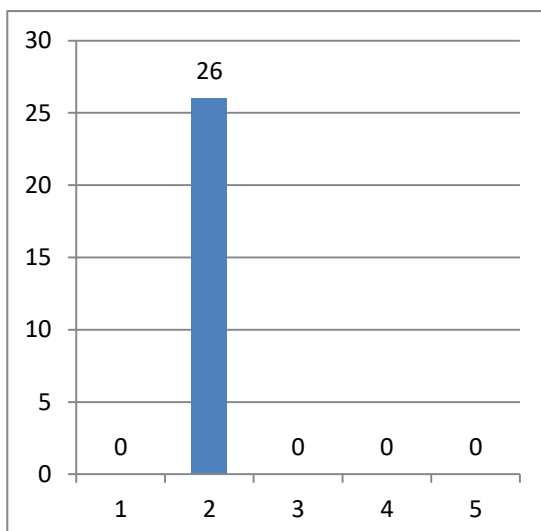
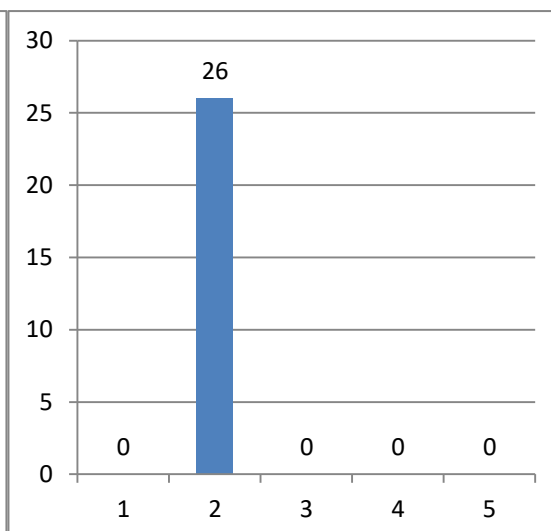


Gráfico 5



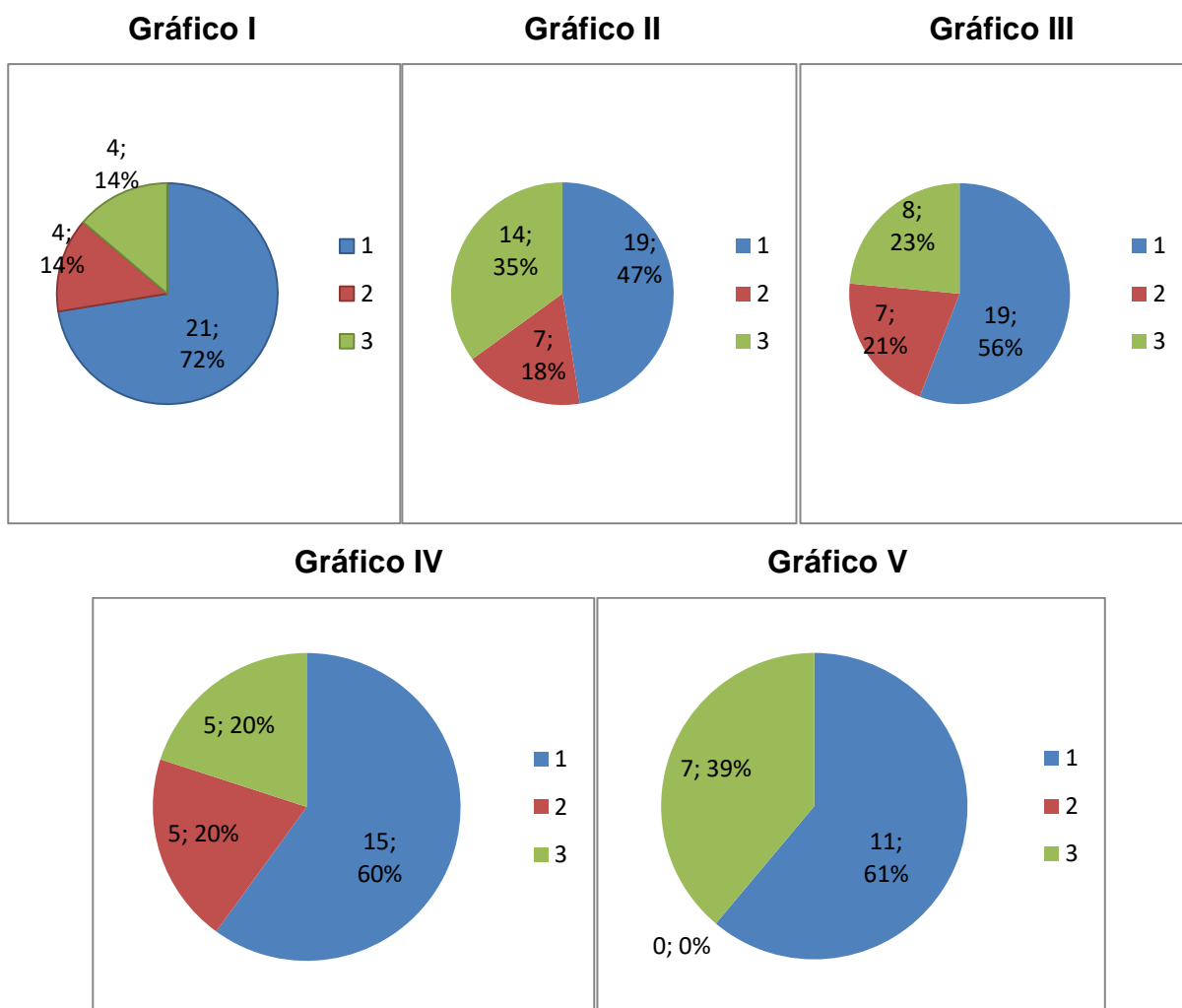
No que diz respeito á numeração da legenda, dada pelos rótulos do eixo horizontal, esta se refere aos itens da questão 4 do questionário, “**Questão 6: O que você sabe sobre lixo radioativo?**” tem-se:

- 1= Material que não serve para coisa alguma e pode ser jogado fora em qualquer lugar;
- 2= Material que pode apresentar certo nível de contaminação, não pode ser reaproveitado e que deve ser armazenado e depositado em local adequado;
- 4= Não sei;
- 5= Outros (especifique);

Nesta questão os estudantes das engenharias EA, EE e EAU optaram apenas pelo item 2, destacando-se a opção pelo item 3 por percentual dos alunos de ES e pelos itens 3, 4 e 5 por discentes do curso de EEL. Isso denota que grande percentual dos discentes possuem conhecimentos à respeito dos rejeitos das usinas nucleares.

6.7 Análises das Questões 07 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 7 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



No que concerne á numeração da legenda esta se refere aos itens da questão 7 do questionário, **“Questão 7: Você considera uma usina nuclear segura?”** tem-se:

- 1= Sim;
- 2= Não;
- 3= Não sei opinar;

Analisando os gráficos acima se infere que a maioria dos estudantes considera uma usina nuclear segura, havendo maior conforto pelos discentes do curso de EA e EAU, e maior desconfiança pelos estudantes de EEL e EE, em ordem decrescente. Nota-se ainda que grande percentual dos estudantes, mais expressivo dentre os estudantes de EAU, não sabem opinar sobre a segurança das usinas.

6.8 Análises das Questões 08 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 8 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

Gráfico 1

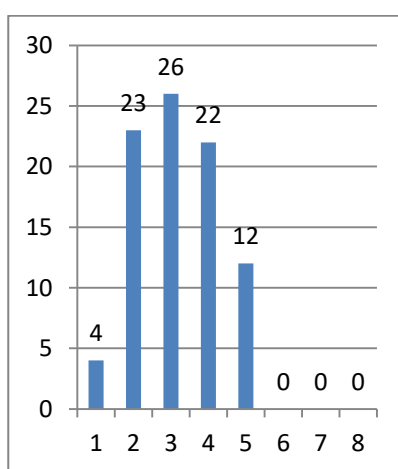


Gráfico 2

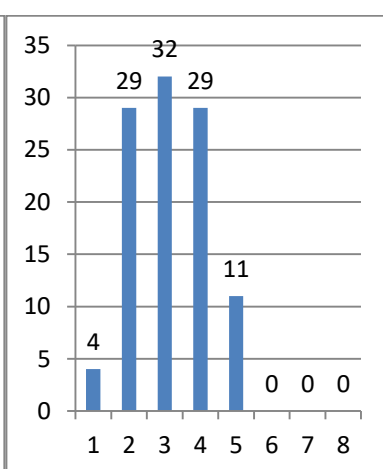


Gráfico 3

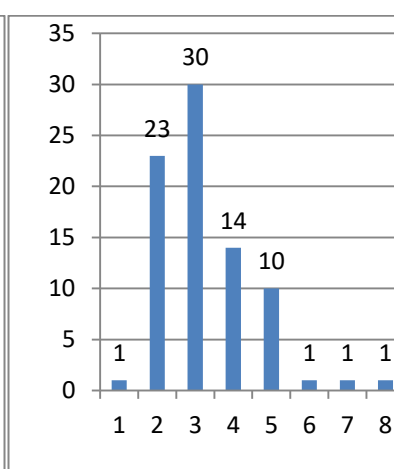


Gráfico 4

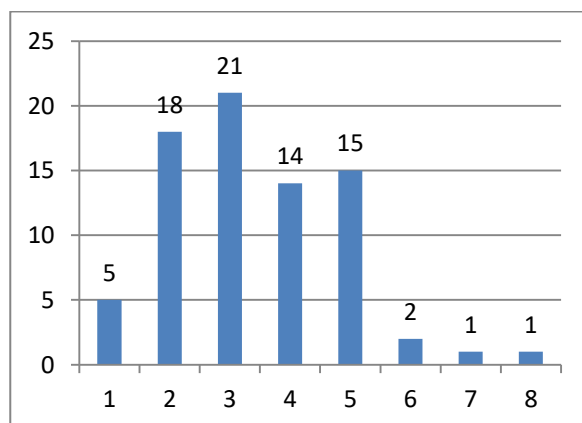
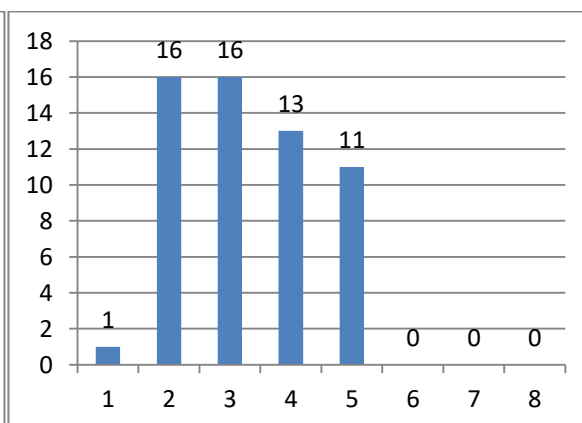


Gráfico 5



A numeração da legenda se refere aos itens da questão 7 do questionário, **“Questão 8: Supondo que as hidrelétricas em certo momento não conseguirão mais suprir a demanda de energia do País. Cite outra fonte de energia elétrica?”** tem-se:

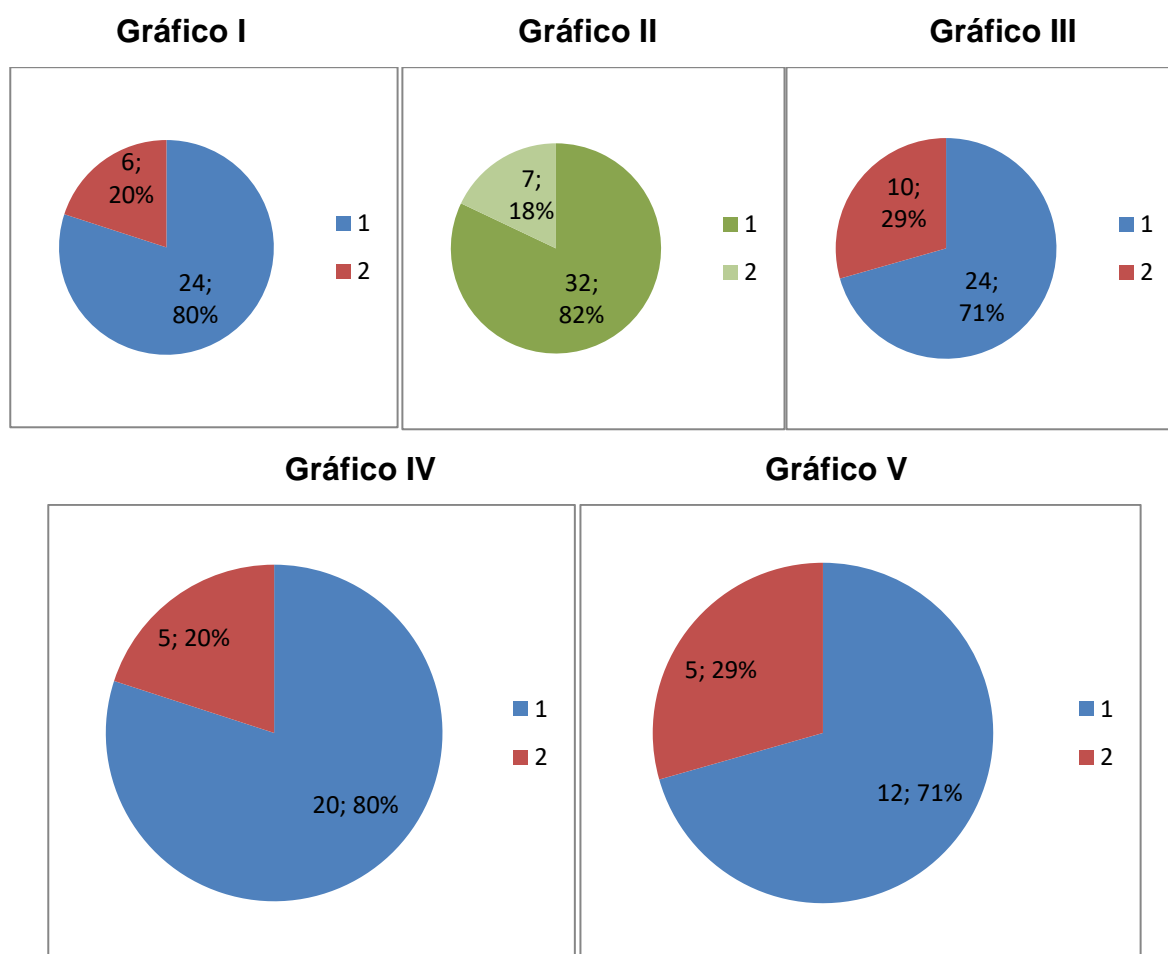
1=Usinas à Carvão; 2= Energia eólica; 3= Energia solar; 4=Energia Nuclear;
5=Biomassa; 6= Outras; 7= Geotérmicas; 8= Marés;

Nessa questão são verificados quais seriam as prováveis substitutas ou complementares fontes de eletricidade às hidrelétricas. Em resposta a esta questão os discentes foram recorrentes às fontes Solar, Eólica, Nuclear, Biomassa a Carvão e, sendo citadas as Marés e Geotérmicas pelos discentes de EEL e de EE, em ordem crescente de recorrência.

Nota-se ainda uma equiparação entre as opções pelas usinas eólica e nuclear pelos discentes de ES, e o mesmo entre as usinas eólica e solar pelos estudantes de EAU.

6.9 Análises das Questões 09 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 9 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



A numeração da legenda se refere às alternativas da questão 9 do questionário, “**Questão 9: Você é a favor ou contra a utilização da energia nuclear no Brasil?**” tem-se:

- 1= A favor;
- 2= Contra;

Nos gráficos de I a V acima são dispostos os índices e seus respectivos percentuais representativos da amostra. Esses índices medem o quão favoráveis à utilização da energia nuclear os estudantes de engenharia da FGA são.

Com base nos dados dispostos nos gráficos verifica-se que o maior percentual dentre os discentes são favoráveis à energia nuclear, com índices mais expressivos dos gráficos representativos dos cursos ES, EA e EE, quase equiparáveis. Contudo, há considerável percentual que se opõe à utilização desta, sendo mais expressivo dentre os alunos de EAU e EEL, equiparáveis.

6.10 Análises das Questões 10 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 10 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

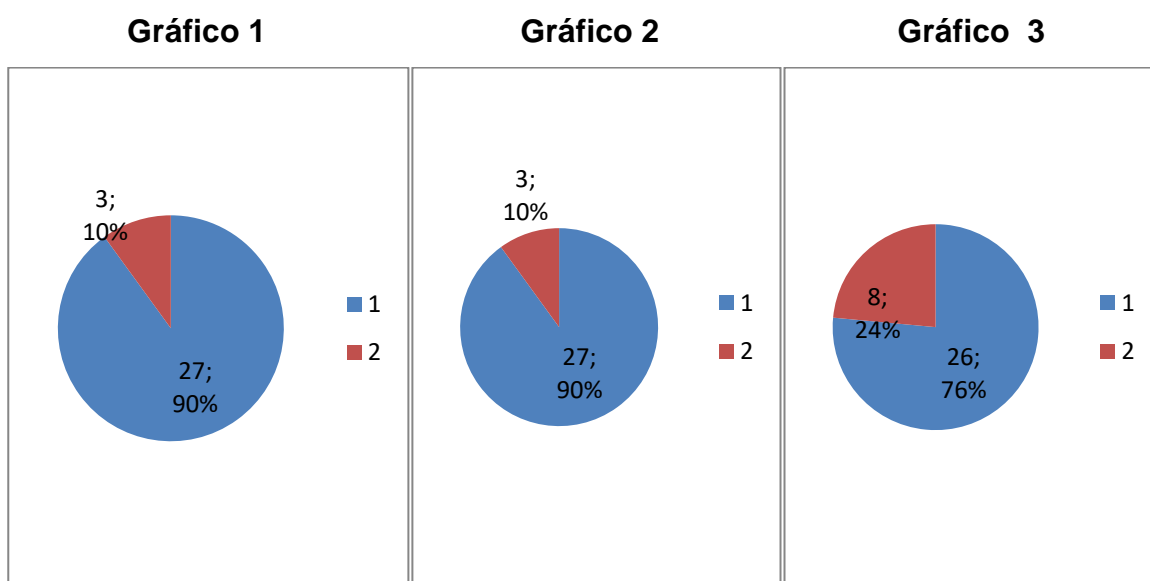


Gráfico 4

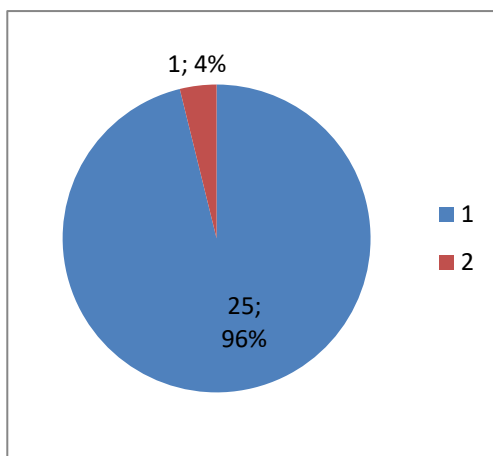
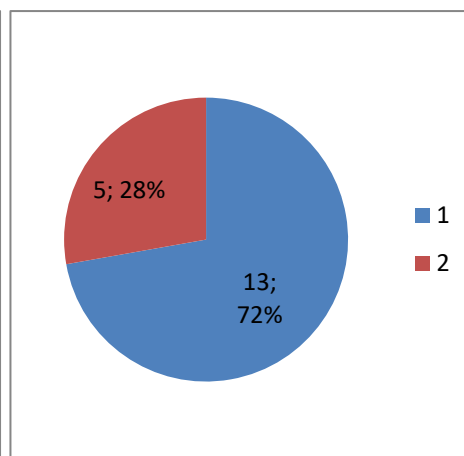


Gráfico 5



Quanto á legenda referente aos itens desta questão: **“Questão 10: Gostaria de receber um material educativo onde seriam apresentadas as vantagens, desvantagens e aplicações da energia nuclear?”**

- 1= Sim;
- 2= Não;

Dos gráficos tem-se que em sua maioria dos discentes demonstram interesse em acesso a um material informativo sobre a energia nuclear. Há uma maior rejeição por parte dos graduandos de EAU e, a maior aceitação pelos de EE.

6.11 Análises das Questões 11 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 11 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

Gráfico I

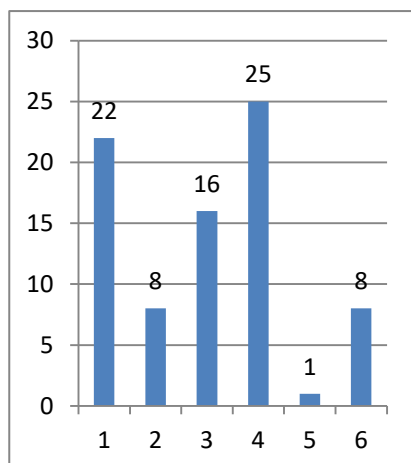


Gráfico II

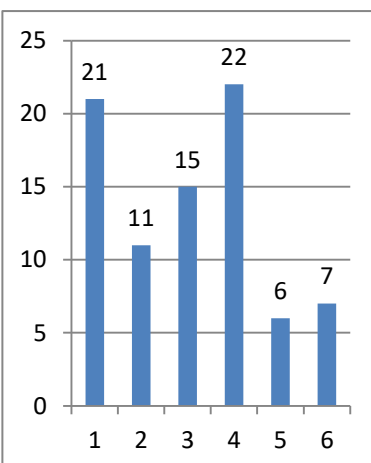


Gráfico III

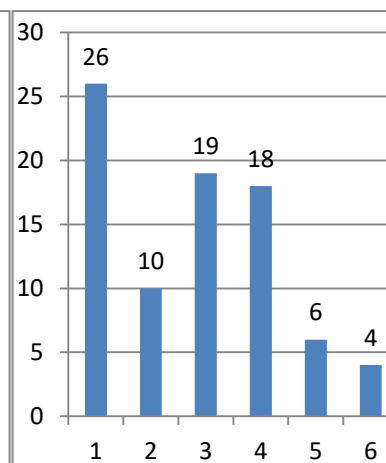


Gráfico IV

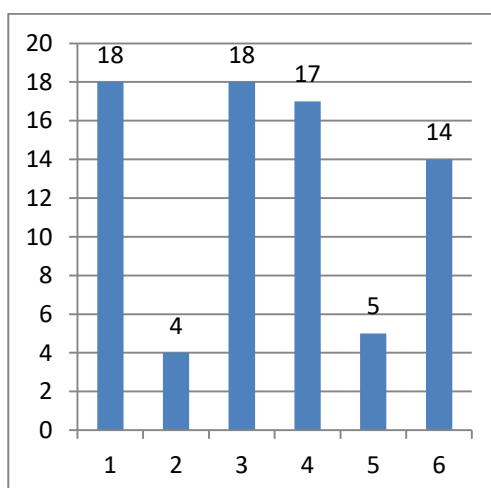
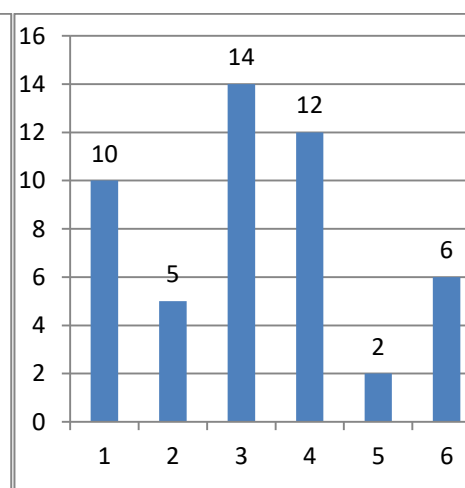


Gráfico V



No eixo horizontal dos gráficos acima estão dispostos índices que representam as alternativas da questão 11 do questionário: **“Questão 11: Em sua opinião qual ou quais fonte(s) de energia elétrica serão mais usadas no Brasil daqui a 20 anos?”**

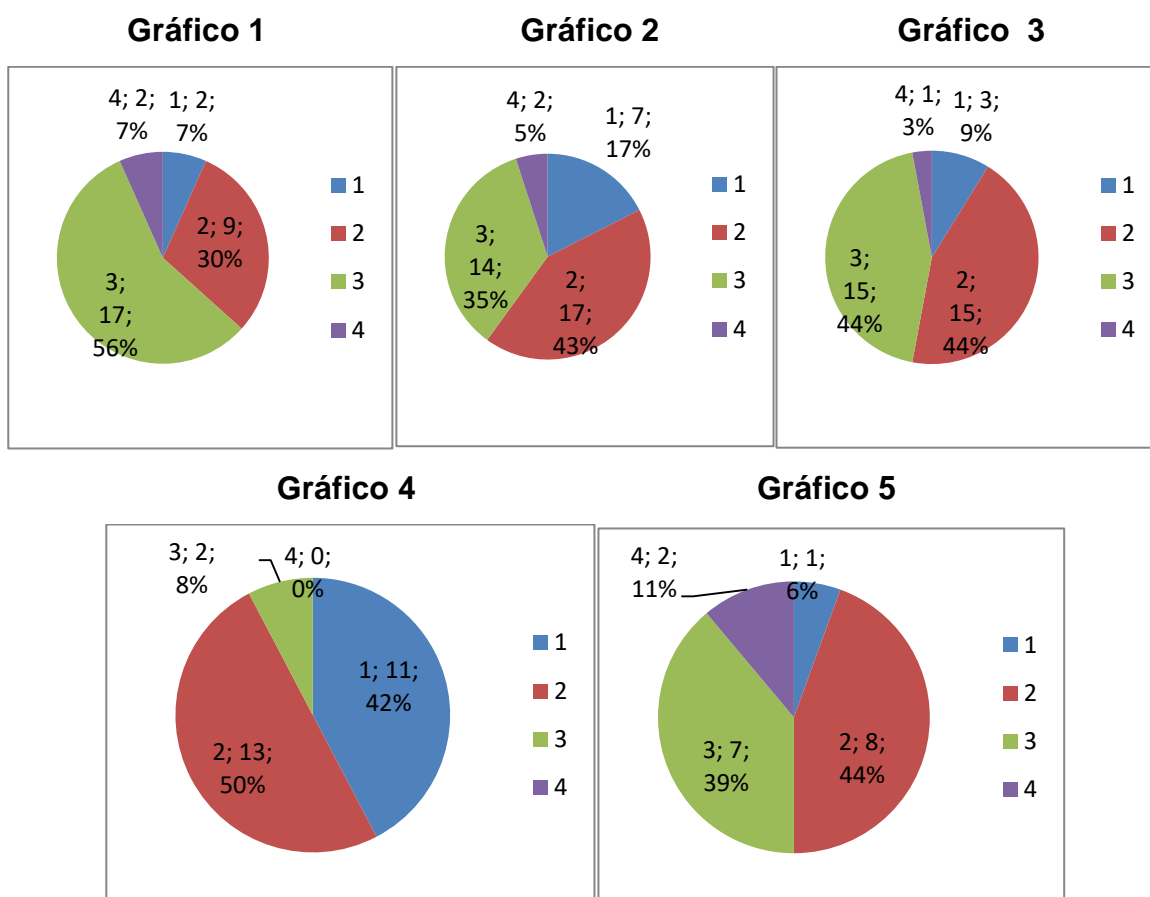
- 1= Solar;
- 2= Nuclear;
- 3= Eólica;
- 4= Hídrica;
- 5= Carvão, ou derivados do petróleo (óleo e gás);
- 6= Decomposição de Biomassa;
-

Nesta questão são verificadas as perspectivas dos discentes de cada engenharia quanto às fontes de energia que estarão em utilização no Brasil. Em resposta a esta especulação os estudantes foram recorrentes em maior magnitude

às fontes, Solar, Hídrica, Eólica, Biomassa, Nuclear e Carvão. Nota-se que há um equilíbrio entre as opções 1, 3 e 4. Isso pode ser atribuído ao fato de o curso de EE, da FGA, ser voltado às fontes “renováveis” de energia. Onde não estão inclusas as usinas nucleares e as a carvão de derivados de petróleo.

6.12 Análises das Questões 12 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 12 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



Aos itens de 1 a 5 da legenda apresentadas nos gráficos das questões 12 de cada curso se referem às alternativas da questão: “**Questão 12: No total, a energia nuclear traz mais riscos, benefícios ou ambos?**”, onde:

1= Mais Riscos; 2= Mais Benefícios; 3= Tanto riscos quanto benefícios; 4= Não sei;

Do gráfico 1 verifica-se que os estudantes de EA citam uma equivalência entre as vantagens e desvantagens da energia nuclear, 56% destes, e 30% crêm que a energia nuclear traz mais benefícios, 7% afirmam que a energia nuclear traz mais riscos ou não sabem opinar.

Dos discentes de ES 43% afirmam que a energia nuclear possui mais benefícios, e 35% que há equivalência entre riscos e benefícios. Ainda 17% afirmam que a energia nuclear traz mais riscos e 5% desses não sabem opinar.

Quanto aos estudantes de EEL 44% destes citam que a energia nuclear possui mais benefícios e outros 44% que esta traz tanto riscos quanto benefícios. Há ainda 9% que afirmam que a energia nuclear traz implica em mais riscos e 3% diz não saber opinar.

Dentre os estudantes de EE 50% diz que a energia nuclear traz mais benefícios e 42% que esta traz mais riscos. Há ainda 8% destes que citam que a energia nuclear traz tanto benefícios quanto riscos.

Quanto aos estudantes de EAU 44% destes afirmam que a energia nuclear traz mais benefícios que riscos, 39% que há uma equivalência entre riscos e benefícios. Apenas 1% destes citam que a energia nuclear traz mais riscos e 11% não souberam opinar.

6.13 Análises das Questões 13 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 13 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

Gráfico I

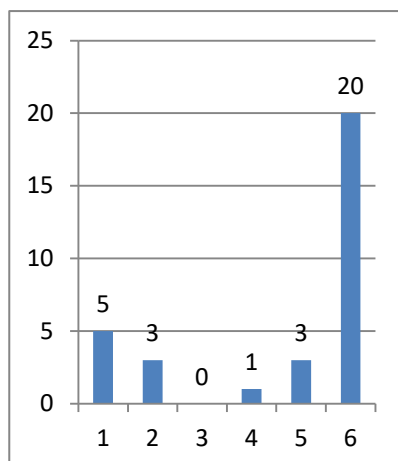


Gráfico II

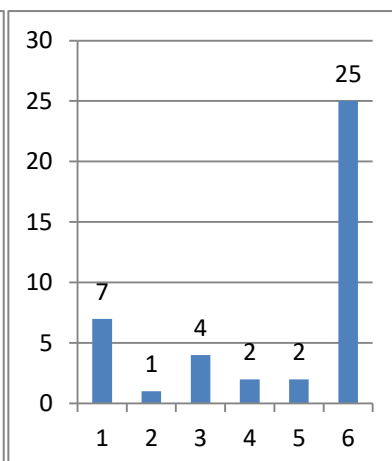


Gráfico III

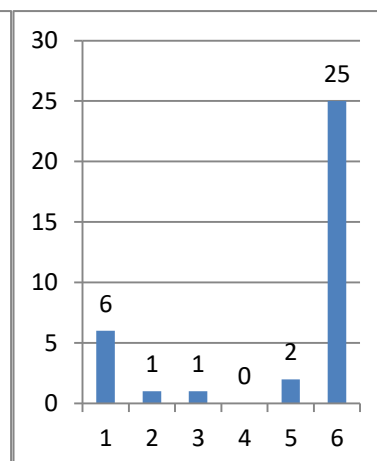


Gráfico IV

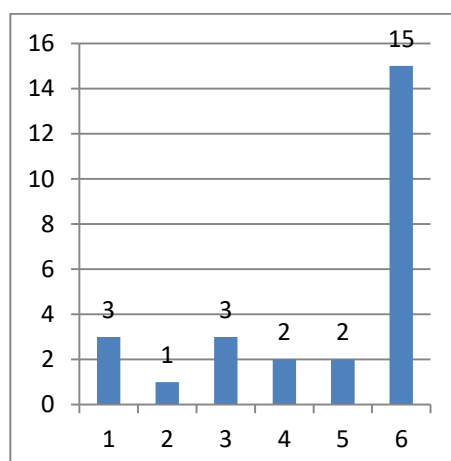
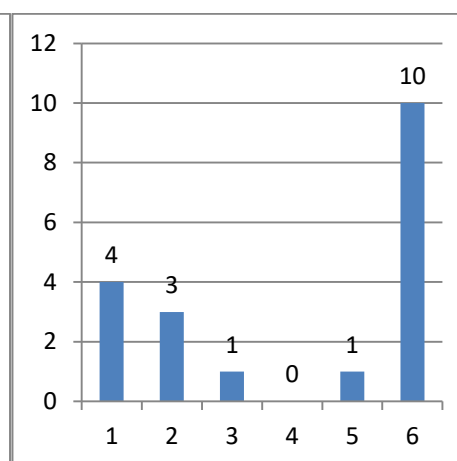


Gráfico V



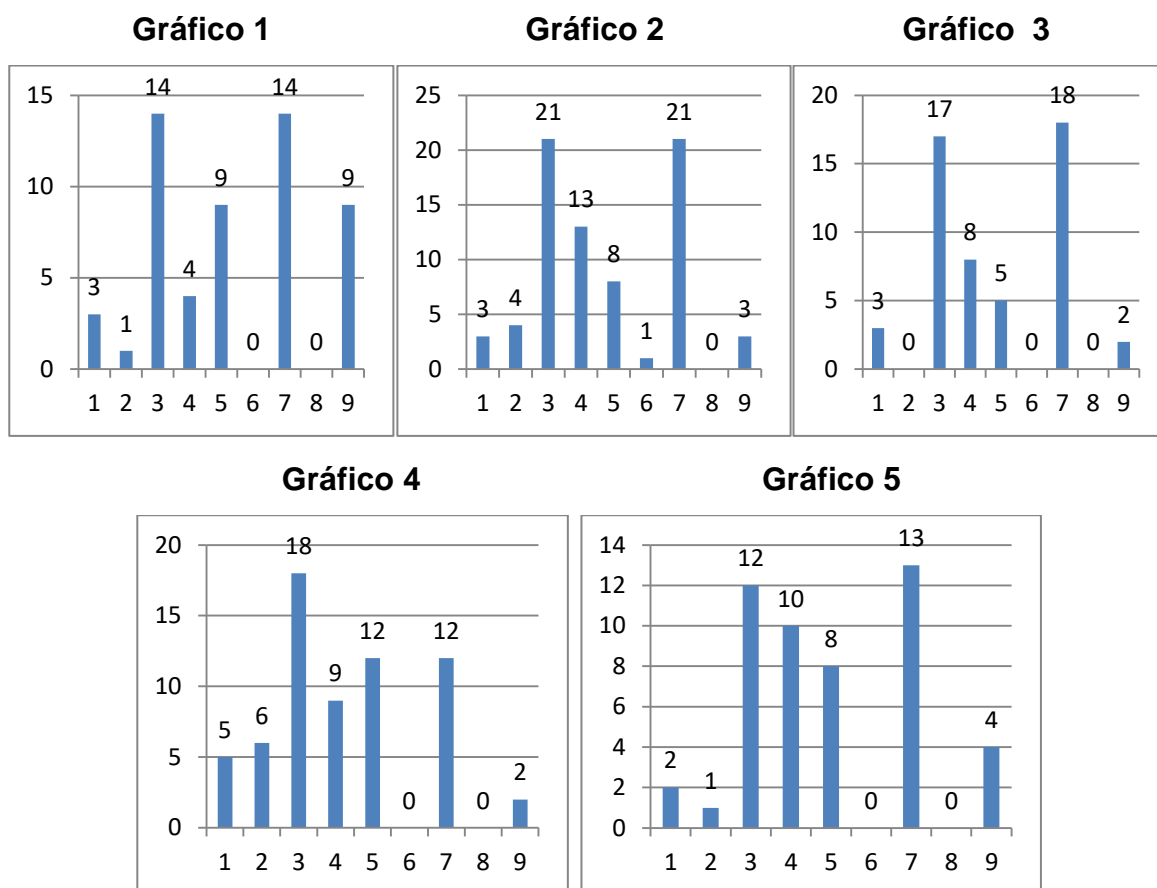
O eixo horizontal dos gráficos acima trazem os rótulos das opções de resposta a questão 13 do questionário: **“Questão 13: Caso o fosse feita uma pesquisa de opinião sobre onde construir um depósito de lixo radioativo, de diferentes níveis de radioatividade. Qual das respostas abaixo seria a sua?”**

- 1= Sou a favor. Porém, longe de minha casa;
- 2= Sou a favor, independente do local;
- 3= Sou indiferente;
- 4= Sou contra a construção desses depósitos no Brasil;
- 5= Sou contra a construção desses depósitos em qualquer lugar da Terra;
- 6= Construção de áreas isoladas;

Em resposta à esta questão se nota que o maior percentual dos discentes optaram pela última alternativa de resposta, a construção de depósitos de lixo radioativo em áreas isoladas. Sendo que o segunda alternativa mais citada fora a 1, construção de depósitos longe de suas casa.

6.14 Análises das Questões 14 dos Cursos.

Nos gráficos 1, 2, 3, 4, e 5 a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 14 do questionário aplicado, sendo que o gráfico 1 representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico 2 as de Engenharia de Software(ES), 3 Engenharia Eletrônica(EEL), 4 Engenharia de Energia(EE) e 5 o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).



No eixo horizontal dos gráficos dispostos acima estão os rótulos dados as alternativas de resposta à questão 14 do questionário: **“Questão 14: Qual dos seguimentos da sociedade a seguir possui maior credibilidade para falar sobre a segurança de Usinas Nucleares?”**, onde:

- 1= Governo;
- 2= Ministério Público;
- 3= Órgão Regulador (CNEN);
- 4= Ambientalistas;
- 5= Representantes da usina;
- 6= Jornalistas;
- 7= Acadêmicos de universidades;
- 8= Artistas de TV;
- 9= Ministério da Defesa;

Os estudantes do curso de EA optaram de maneira equiparável pelas alternativas 3 e 7, CENEN e Acadêmicos respectivamente, como os seguimentos mais críveis a tratar sobre a segurança das usinas nucleares. Houve uma equiparação em segunda instância pelos itens 5 e novo pelos discentes deste curso seguido pelos itens 4, 1, 2, 6 e 8 em ordem decrescente de magnitude, sendo que os dois últimos não possuem representatividade.

Os discentes de ES optaram de maneira igual pelas alternativas 3 e 7 seguidas por 4, 5, 2, 1, 9, 6 e 8(sem contribuição), em ordem decrescente de recorrência. Os graduandos de EEL citaram em ordem de magnitude crescente as alternativas 2, 6, 8, 9, 1, 5, 4, 3 e 7, sendo que as três primeiras são nulas.

Da EE a ordem crescente de recorrência é dada pelos itens 6, 8, 9, 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 3. Sendo que as alternativas 6 e 8 são nulas, a 5 e 7 equiparáveis e a mais citada fora a 3. Para os estudantes de EAU os representantes mais críveis são 7, 3, 4, 5, 9, 1, 2, 6 e 8 em ordem decrescente, sendo que os dosi últimos não possuem nenhuma credibilidade.

6.15 Análises das Questões 15 dos Cursos.

Nos gráficos de I,II,III,IV e V a seguir estarão dispostas as recorrências das respostas a cada item da questão 15 do questionário aplicado, sendo que o gráfico I representa as respostas do curso de Engenharia Aeroespacial(EA), gráfico II as de Engenharia de Software(ES), III Engenharia Eletrônica(EEL), IV Engenharia de Energia(EE) e V o gráfico de Engenharia Automotiva(EAU). Estes gráficos são de Fonseca(2017).

Gráfico I

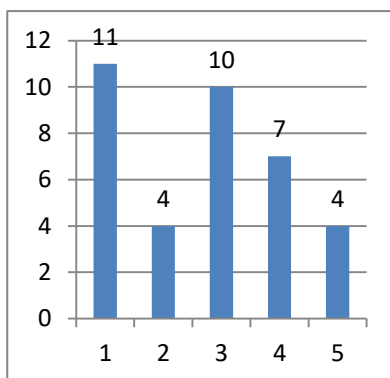


Gráfico II

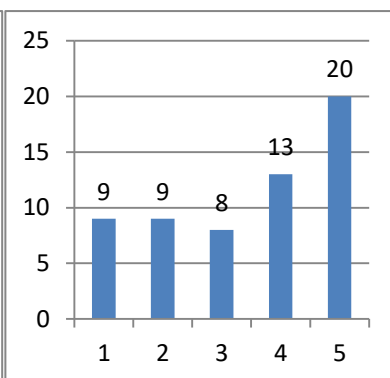


Gráfico III

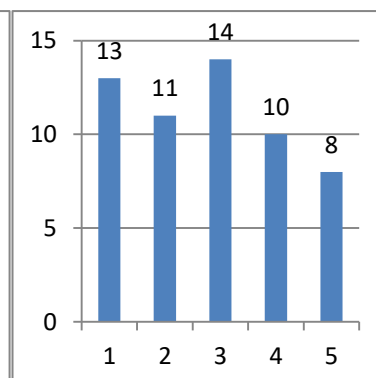


Gráfico IV

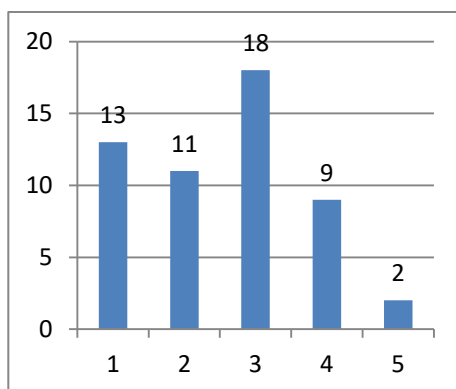
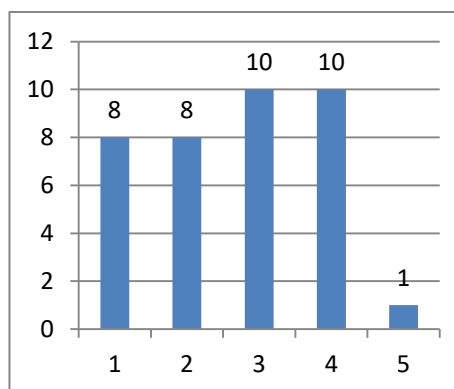


Gráfico V



Quanto à legenda ou rótulos dada pela numeração localizada nos eixos horizontais dos gráficos acima, estes representam as alternativas tomadas como resposta, devido às suas recorrências, à questão 15 dos questionários: **“Questão 15: O tema “Energia nuclear e rejeitos radioativos” ainda é bastante polêmico e nem sempre de conhecimento público então, dê a sua sugestão de como pode ser feito um esclarecimento sobre o assunto.”**, dadas por:

- 1= Cartilha;
- 2= Panfleto;
- 3= Palestra, Workshops;
- 4= Programa de TV, reportagens;
- 5= Aplicativo;

Houve certo equilíbrio quanto as respostas dadas, porém, pode-se notar que a maior recorrência é voltada as alternativas 1 e 3, Cartilha e Palestra, e ainda pelos estudantes de ES e de EEL pela opção 5, Aplicativo. Nota-se que há uma certa tendência de acordo com o escopo de cada uma das engenharias.

Comparando os resultados com as constatações das pesquisas de referência citadas na sessão 3.2 deste trabalho, observa-se a confirmação de pontos em comum. Na pesquisa da OECD da AIEA, verificou-se que 34% da população, representada na pesquisa, afirmaram que as usinas nucleares devem permanecer em funcionamento citando a vantagem de a energia nuclear ser fonte limpa de energia a par das mudanças climáticas, o que denota que estas ou a consideram segura ou sabem de sua importância, e 25% dessa afirmam que as usinas nucleares devem ser desativadas citando ainda que haja riscos de segurança vinculados principalmente à ataques terrorista, representando aqueles contra as tecnologias nucleares ou que consideram estas mais arriscadas que benevolentes. Isso pode ser confirmado com as conclusões parciais dos resultados das questões 2, 7, 9 e 12 do questionário que trazem a opinião dos entrevistados quanto às aplicações, segurança, opção pela energia nuclear e benefícios e desvantagens da energia nuclear.

Na pesquisa de Präss, é verificado que as principais vantagens citadas pelos entrevistados são: pequeno impacto ambiental; não contribui para o efeito estufa; muita energia com pouco combustível; impulsiona desenvolvimento tecnológico e aplicações médicas. E que as desvantagens ou aspectos negativos principais são: risco de acidentes graves; lixo atômico; produção de armas; gasto com armazenagem do lixo radioativo. As mesmas vantagens, e outras, podem ser verificadas com os resultados das questões 2 e 12, bem como as desvantagens. Isso demonstra equivalência nos estudos de caso.

No estudo realizado no Rio de Janeiro feito por Almeida verifica-se que na perspectiva dos entrevistados quanto às fontes energéticas do Brasil, que as Usinas Hidrelétricas, Solar e Nuclear são os três mais recorrentes, em ordem decrescente de importância. Ainda nesse estudo 47% das pessoas entrevistadas diz que a energia nuclear traz tanto benefícios quanto desvantagens, quanto às aplicações da energia nuclear são citadas: aplicações na medicina, setor elétrico e as vantagens ambientais frente às demais fontes. Quanto aos depósitos de rejeitos radioativos, 44,9% dos entrevistados se mostra contra a construção destes. Comparando estes com os da pesquisa realizada nesse trabalho verifica-se novamente uma equivalência entre eles.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Com a revisão bibliográfica realizada, foi possível verificar que o desenvolvimento das usinas nucleares e a proliferação dessas instalações ocorreram de forma centralizada no começo, porém, com a corrida armamentista e os programas pró nucleares de cada nação logo a tecnologia se tornou algo, em termos, descentralizada.

Nota-se que o ápice do desenvolvimento da tecnologia dos reatores nucleares de potência atuais bem como de seus respectivos sistemas de segurança ocorreu no decorrer da segunda metade do século XX. No século XXI com o desenvolvimento da computação e da experimentação simulada, ocorreu um pico nas pesquisas voltadas a área nuclear.

Dos tipos de reatores se nota que aqueles mais difundidos e usados são os produzidos pelas nações pioneiras da área. E, que seu comércio e controle regulamentário é feito por agência de cooperação internacional, a fim de se manter controle sobre a proliferação dos espólios da tecnologia, as armas nucleares. Nota-se ainda que este controle às vezes é feito de forma a sobrepor os ideias de uma nação, seja por interesses comerciais ou por segurança.

Com relação à segurança das usinas nucleares, estas se mostram seguras desde que seja mantida cautela, evitando negligenciar os protocolos de segurança. Vale a nota de que fora o acidente de 2011 de Fukushima no Japão ocasionado por incidente natural os outros 3 acidentes graves e de repercussão envolvendo usinas nucleares se deram via intermédio de falha humana, alguns devido à negligência e outro por excesso de confiança.

Dos dispositivos de controle e segurança aplicados aos principais reatores de potência em funcionamento no globo, estes se mostram eficientes e seguros. Na maioria dos casos os dispositivos com maior responsabilidade possuem redundância.

Ao buscar na literatura referências sobre pesquisas de opiniões verificou-se que raros os caso em que são feitas. E que a preocupação com a opinião pública, quanto aos assuntos envolvendo as tecnologias nucleares, datam de um curto espaço de tempo.

Contudo, a partir do início desse século a preocupação com a opinião pública tem se tornado recorrente. Isto se deve ao fato de que há uma globalização da informação em desenvolvimento exponencial. E com isso passou-se a existir maior cobrança e pressão pelos civis, o que se tornou de certo modo um dos entraves, para o Brasil, no que tange o desenvolvimento e disseminação das tecnologias nucleares.

Pesquisas de opinião realizadas nas nações onde se faz presente a energia nuclear mostra que as pessoas dali, apesar de às vezes se oporem à tal tecnologia, não vêm outra alternativa. Além disso, desprezando os desastres a energia nuclear é de caráter predominantemente benéfico. Pois, possibilita o desenvolvimento de áreas diversas num país, economia, médica, industrial, etc.

Com a análise inicial quantitativa do estudo de caso realizado por intermédio de pesquisa opinião para este trabalho nota-se que a população em estudo apresenta desconfiança e até receio à energia nuclear. Porém, em sua maioria os entrevistados mostram-se favoráveis à implementação de usinas nucleares no Brasil.

Como resultado da pesquisa verificou-se que mesmo dentro da comunidade acadêmica de caráter específico, faculdade de engenharia, há ainda um grande percentual de discentes que sequer reconhecem as aplicações ou até mesmo a existência de reatores nucleares no Brasil.

Quanto aos rejeitos radioativos a grande maioria dos entrevistados se mostram cientes dos riscos relacionados ao resíduo. E que quando se é indagado quanto à destinação dos detritos, eles citam categoricamente locais e áreas isoladas, o que comprova a percepção dos riscos correlacionados ao lixo.

Na busca por traçar o perfil da visão dos entrevistados é solicitado à estes que indiquem, caso necessário, um representante ou instituição para levar à comunidade esclarecimentos realistas sobre as tecnologias nucleares, e estes em sua maioria citam ministérios públicos ou órgão relacionado à eles, bem como acadêmicos e representantes usina.

Esse projeto tem por objetivo final propor uma solução para aquilo que integra um dos três empecilhos à disseminação da energia nuclear no país, a opinião pública interferindo na regulamentação. Com a pesquisa realiza se verifica um

anseio pelos envolvidos por maior conhecimento a respeito da energia nuclear. E eles citaram como solução a realização de palestras, produção de panfletos e cartilhas, programas e propagandas veiculadas pela TV ou por aplicativo.

Logo, como perspectiva de proposta da campanha educativa a ser estudada e detalhada mais profundamente no próximo estágio do projeto, se mostra a elaboração de uma cartilha ou panfleto disponibilizado na forma física e/ou eletrônica pelos meios mais comuns de divulgação, jornais, TV e redes sociais.

Como proposta de elaboração continuada desse trabalho está à realização de uma análise estatística mais aprofundada e detalhada, por meio da aplicação da técnica de regressão logística, traçando de forma concreta o perfil da perspectiva da comunidade acadêmica quanto às implicações da tecnologia nuclear no Brasil.

Neste trabalho é realizada uma análise sobre a percepção de uma comunidade discente de uma faculdade de tecnologias de engenharia, é mesmo assim ainda existem dúvidas e conclusões superficiais sobre as tecnologias nucleares, isto implicaria em necessidades de esclarecimentos populacionais mais elaborados? E, como é a visão de pessoas completamente alheias às tecnologias nucleares, no que tange suas aplicações?

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIEA, Agência Internacional de Energia Atômica. **Relatório Anual de 2015**. Disponível em: <<https://www.iaea.org/sites/default/files/gc60-9.pdf>>. Acesso em 06 de Maio de 2017.

ALMEIDA, Renata Araujo de. **Um estudo simplificado sobre a percepção pública na área nuclear**: sugestões para campanhas educativas para os diferentes segmentos da sociedade. 2011. Tese de Doutorado. Disponível em:<http://carpedien.ien.gov.br:8080/bitstream/ien/542/1/dissertacao_mestrado_ien_2011_03.pdf> Acesso em: 07 de Abril de 2017.

AUTORACING. **Sala de Controle de uma Usina Nuclear**. 2011. Disponível em: <<http://www.autoracing.com.br/forum/index.php?showtopic=62458&page=2>>. Acesso em: 07 de Maio de 2017.

CABRAL, Dantas Anya. **História das Usinas Nucleoelétricas no Brasil**. Revista Eletrônica de Energia, v. 1, n. 1, 2012(b). Disponível em:<<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/view/1639>> Acesso em: 15 de Fevereiro de 2017.

CABRAL, Dantas Anya. **Rumo a uma nova percepção dos riscos nucleares no Brasil**: Questões estratégicas e implicações de política. 2012(a). Disponível em: <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/492/1/DISSERTAO_%20Anya%20Dantas%20Cabral_2012.pdf>. Acesso em: 06 de Maio de 2017.

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. **História da Energia Nuclear**, 2008. Apostila Educativa, de... Disponível em:<<http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/historia-da-energia-nuclear.pdf>>. Acesso em 05 de Março de 2017.

DA SILVA REZENDE, Gabriel Fonseca et al. **Reatores Nucleares De Potência**. INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA, 2009. Disponível em:<http://www.lucianosantarita.pro.br/Arquivos/Reatores_nucleares_potencia.pdf> Acesso em: 04 de Maio de 2017.

DE LIRA, Elda Vilaça. **Os Benefícios do Uso da Energia Nuclear**. 2015, Disponível em:<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/116/46116418.pdf> Acesso em: 07 de Abril de 2017.

DOS SANTOS, Ricardo Luís Pereira. **A energia nuclear no sistema elétrico brasileiro**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em:<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/luis_pereira.pdf> Acesso em: 07 de Abril de 2017.

EC, Comissão Europeia. **Europeans and Nuclear Safety**. Disponível em:<http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_271_en.pdf> Acesso em: 17 de

Abril de 2017.

EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas. **Balço Energético Nacional 2016**, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 29 de Maio de 2017.

FGV, Fundação Getúlio Vargas. **O futuro da Energia Nuclear no Brasil e no Mundo**. Fundação Getúlio Vargas 29 de Abril de 2015. Disponível em: <http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/2015-04-29_fgv_futuro_energia_nuclear_travassos_1.pdf>. Acesso em: 07 de Maio de 2017.

FGV, Fundação Getúlio Vargas. **Perspectivas para a Energia Nuclear no Brasil**, 2016. Disponível em: <http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/3_-_felipe_goncalves_contextualizacao_nuclear_fg.pdf>. Acesso em: 29 de Maio de 2017.

FIGUEIRA, Cleonis Viater. **Modelos de regressão logística**. 2006. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8192/000569815.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 de Maio de 2017.

FRANCO, Simone Bezerra. **Avaliação de Tecnologia em saúde: Perfil do Usuário Brasileiro do Programa Farmácia Popular com Hipertensão Arterial Diagnosticada**. Universidade de Brasília, Faculdade Gama. Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica. 2017.

GOLDEMBERG, José. **Os riscos da energia nuclear**. ComCiência no.104 Campinas 2008. Disponível em: <<http://comciencia.scielo.br/pdf/cci/n104/a11n104.pdf>> Acesso em: 06 de Maio de 2017.

GONÇALVES, Odair Dias. **O Programa Nuclear Brasileiro e a Física Médica no Brasil**. Revista Brasileira de Física Médica, v. 3, n. 1, p. 151-156, 2009. Disponível em: <<http://www.rbfm.org.br/index.php/rbfm/article/view/40/v3n1p151>> Acesso em 15 de Fevereiro de 2017.

GONÇALVES, Odair Dias; DE ALMEIDA, Ivan Pedro Salati. **A energia nuclear**. Ciência Hoje, v. 37, n. 220, 2005. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&q=GON%C3%87ALVES%2C+O+D%3B+ALMEIDA%2C+I+P+S.+Energia+Nuclear+e+Seus+Usos+na+Sociedade&btnG=&lr=>>> Acesso em: 12 de Abril de 2017.

IAE, International Energy Agency. **Key Electricity Trends 2016-** Based on Monthly Data, 2016. Disponível em: <http://www.iea.org/media/statistics/Keyelectricitytrends2016_.pdf>. Acesso em: 29 de Maio de 2017.

MILANEZ, Almeida e do Carmo. **Energia Nuclear Socialmente Aceitável como Solução Possível para a Demanda Energética Brasileira**. Revista Ciências do Ambiente On-Line Fevereiro, 2006 Volume 2, Número 1. Disponível em: < http://www.fisica.net/nuclear/energia_nuclear_socialmente_aceitavel_como_solucão_para_demanda_energetica_brasileira.pdf >. Acesso em: 18 de Abril de 2017.

MINISTÉRIO de Minas e Energia. **Boletim de Energia Nuclear Brasil e Mundo 2016**. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/16++Energia+Nuclear++Brasil+e+Mundo++ano+ref.+2015+%28PDF%29/f9a87926-f1cb-46c5-8f0b-17317b321e26?version=1.6://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/brasil-tem-5-maior-reserva-de-uranio> Acesso em: 11 de Abril de 2017.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2007. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_2.pdf>. Acesso em: 29 de Maio de 2017.

NETO & CORREA, Antonio Souza Vieira, Francisco. **Visão geral de métodos de análise de risco aplicados a instalações perigosas**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 1997. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/12136/05000.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 06 de Maio de 2017.

OBJETIVO. **Tratado de Não Proliferação Nuclear**. 2017. Disponível em: < <http://www.objetivo.br/noticias.asp?id=3610>>. Acesso em: 07 de Maio de 2017.

OECD. **Public Attitudes to Nuclear Power**. AIEA, 2010. Disponível em:< <http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6859-public-attitudes.pdf>>. Acesso em: 18 de Abril de 2017.

PRÄSS, Alberto Ricardo. **Energia Nuclear Hoje: Uma Análise Exploratória**. Porto Alegre, 2007. Disponível em:< http://www.fisica.net/monografias/A_Energia_Nuclear_Hoje.pdf> Acesso em : 26 de Janeiro de 2017.

PRIS, Power Reactors Information Systems. AIEA. **Operational & Long-Term Shutdown Reactors 2017**. Disponível em:<<https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx>>. Acesso em 06 de Maio de 2017.

ROSA, Luiz Pinguelli. **Aspectos técnicos e institucionais da segurança dos reatores nucleares no brasil**. Comissão de Acompanhamento do Programa Nuclear da Sociedade Brasileira de Física, 1986. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/19/084/19084523.pdf> . Acesso em: 06 de Maio de 2017.

9. APÊNDICE

Apêndice I Questionário Aplicado aos Acadêmicos da Faculdade de Engenharias da UnB Gama – FGA.

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

Prezado (a) estudante:

O presente questionário é parte do desenvolvimento de um de Trabalho de Conclusão de Curso que tem como um de seus objetivos a realização de uma análise estatística quantitativa e qualitativa sobre o conhecimento que os estudantes da FGA/UnB possuem sobre as tecnologias nucleares, bem como a aceitação de tais estudantes à implantação de usinas nucleares no território brasileiro. É importante salientar que a sua participação será mantida anônima em toda a pesquisa e em qualquer circunstância pública em que os resultados da investigação vierem a ser apresentados. Por favor, leia as perguntas com atenção e dê as respostas com sinceridade.

Parte A: Perfil do Entrevistado

Nome:

Sexo: () M () F

Idade:

Graduação

Curso:

Semestre:

Parte B: Questões

Questão 1: O que você pensa quando ouve a palavra RADIAÇÃO?

() Contaminação

() Usina Nuclear

() Bomba atômica

() Não sei

() Outro

() Acidentes

Questão 2: Quais aplicações da Energia Nuclear você conhece?

() Tratamento para cura de câncer e diversos tumores

() Dessalinização da água

() Combustível Nuclear

() Tratamento de Gases Tóxicos

() Tratamento de Águas

() Cura de tintas e vernizes

() Esterilização de instrumentação médica e odontológica

- Irradiação de alimentos
- Geração de energia elétrica
- Irradiação de látex
- Diagnóstico e tratamento da tireoide
- Fins bélicos
- Melhoria das propriedades de materiais industrializados

Questão 3: Quais as vantagens da Energia Nuclear você conhece?

- Evolução tecnológica de áreas diversas
- Avanços na área médica
- Forma de energia para o futuro
- Não sei
- Não há
- Outros, especifique.

Questão 4: Quais as desvantagens da energia nuclear?

- Explosão;
- Lixo Nuclear;
- Contaminação;
- Não sei;
- Outros;

Questão 5: Você tem conhecimento dos reatores nucleares que existem no Brasil?

- Sim;
- Não;

Questão 6: O que você sabe sobre lixo radioativo?

- Material que não serve para coisa alguma e pode ser jogado fora em qualquer lugar;
- Material que pode apresentar certo nível de contaminação, não pode ser reaproveitado e que deve ser armazenado e depositado em local adequado;
- Não sei;
- Outros (especifique);

Questão 7: Você considera uma usina nuclear segura?

- Sim
- Não
- Não sei opinar

Questão 8: Supondo que as hidrelétricas em certo momento não conseguirão mais suprir a demanda de energia do País. Cite outra fonte de energia elétrica?

- Usinas à Carvão
- Energia Eólica
- Energia Solar
- Energia Nuclear
- Biomassa
- Outras. Especifique.

Questão 9: Você é a favor ou contra a utilização da energia nuclear no Brasil?

- A favor
- Contra.

Questão 10: Gostaria de receber um material educativo onde seriam

apresentadas as vantagens, desvantagens e aplicações da energia nuclear?

Sim

Não

Questão 11: Em sua opinião qual ou quais fonte(s) de energia elétrica serão mais usadas no Brasil daqui a 20 anos?

Solar

Nuclear

Eólica

Hídrica

Carvão, ou derivados do petróleo (óleo e gás)

Decomposição de Biomassa

Questão 12: No total, a energia nuclear traz mais riscos, benefícios ou ambos?

Mais Riscos

Mais Benefícios

Tanto riscos quanto benefícios

Não sei

Questão 13: Caso o fosse feita uma pesquisa de opinião sobre onde construir um depósito de lixo radioativo, de diferentes níveis de radioatividade. Qual das respostas abaixo seria a sua?

Sou a favor. Porém, longe de minha casa;

Sou a favor, independente do local;

Sou indiferente;

Sou contra a construção desses depósitos no Brasil;

Sou contra a construção desses depósitos em qualquer lugar da Terra;

Construção de áreas isoladas

Questão 14: Qual dos seguimentos da sociedade a seguir possui maior credibilidade para falar sobre a segurança de Usinas Nucleares?

Governo

Ministério Público

Órgão Regulador (CNEN)

Ambientalistas

Representantes da usina

Jornalistas

Acadêmicos de universidades

Artistas de TV

() Ministério da Defesa

Questão 15: O tema “Energia nuclear e rejeitos radioativos” ainda é bastante polêmico e nem sempre de conhecimento público então, dê a sua sugestão de como pode ser feito um esclarecimento sobre o assunto.

10. ANEXOS

Anexo I Exemplo de Aplicação da Metodologia de Regressão Logística Multinomial

Exemplo 2.3. Uma grande corporação realiza um estudo para escolher um plano de saúde para os seus funcionários a partir de três opções oferecidas pela empresa prestadora de serviços. Dessa forma, a variável em análise é o tipo do plano de saúde escolhido, que possui natureza nominal e seus três níveis são denotados por A, B e C. As variáveis independentes utilizadas para a escolha do plano de saúde são: a idade do funcionário, o tamanho de sua família e o rendimento mensal. O objetivo deste estudo é modelar as escolhas de plano de saúde como uma função das variáveis envolvidas e apresentar os resultados em termos das proporções de escolha dos diferentes planos.

Nas seções anteriores os modelos de regressão dados pelas Definições 2.1 e 2.2 utilizavam-se de uma v.a. binária, ou seja, que poderia assumir, por exemplo, apenas os valores zero e um. Assim o modelo era parametrizado em termos do *logit* de $Y = 1$ versus $Y = 0$.

Considera-se uma coleção de $r + 1$ variáveis independentes denotadas por $\mathbf{X} = (X_0, X_1, \dots, X_r)$, onde $\mathbf{x} = (x_0, x_1, \dots, x_r)$ com $x_0 = 1$ e uma v.a. Y de natureza nominal que pode assumir os níveis $0, 1, \dots, q$.

Uma abordagem análoga à realizada nas seções anteriores é descrever o *logit* comparando-se $Y = k$ com $Y = 0$ para $k \in \{1, \dots, q\}$. O valor zero então é denominado *categoria de referência*.

Denota-se as funções *logit* como sendo

$$\begin{aligned} g_k &\equiv g_k(\mathbf{x}) = \ln \left[\frac{\mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x})}{\mathbb{P}(Y = 0|\mathbf{x})} \right] \\ &= \beta_{k0}x_{k0} + \beta_{k1}x_1 + \dots + \beta_{kr}x_r \\ &= \mathbf{x}'\mathcal{B}_k, \text{ para } k \in \{0, \dots, q\}, \end{aligned} \tag{2.38}$$

onde $\mathcal{B}_k = (\beta_{k0}, \dots, \beta_{kr})'$ e $x_{k0} = 1$.

Assumindo-se n independentes observações de Y , denotadas por y_1, \dots, y_n , associadas aos valores de $\mathbf{x}_i = (x_{i0}, \dots, x_{ir})$, para $i \in \{1, \dots, n\}$, o *logit*, dado em (2.38), apresenta-se como

$$\begin{aligned} g_{k1} &\equiv g_{k1}(\mathbf{x}_1) = \beta_{k0}x_{10} + \beta_{k1}x_{11} + \dots + \beta_{kr}x_{1r} + \varepsilon_1 \\ g_{k2} &\equiv g_{k2}(\mathbf{x}_2) = \beta_{k0}x_{20} + \beta_{k1}x_{21} + \dots + \beta_{kr}x_{2r} + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ g_{kn} &\equiv g_{kn}(\mathbf{x}_n) = \beta_{k0}x_{n0} + \beta_{k1}x_{n1} + \dots + \beta_{kr}x_{nr} + \varepsilon_n, \end{aligned}$$

onde $x_{i0} = 1$, para $i \in \{1, \dots, n\}$ e os erros, ε_i , seguem as seguintes suposições, para todo $i, l \in \{1, \dots, n\}$

$$\begin{aligned} (i) \quad &\mathbb{E}(\varepsilon_i | \mathbf{x}_i) = 0. \\ (ii) \quad &Var(\varepsilon_i | \mathbf{x}_i) = Var(Y_i | \mathbf{x}_i). \\ (iii) \quad &Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_l) = 0, \text{ se } i \neq l. \end{aligned} \tag{2.39}$$

O exposto acima motiva a seguinte definição.

Definição 2.3. As v.a.'s Y_1, \dots, Y_n satisfazem um *modelo logístico multinomial* se uma amostra de tamanho um de cada Y_i pode ser expressa como

$$\pi_{ki} \equiv \pi_{ki}(\mathbf{x}) = \frac{\exp(g_{ki})}{1 + \exp(g_{ki})}, \tag{2.40}$$

onde g_{ki} é obtida pela expressão (2.38), para a qual x_{ij} é constante conhecida e β_{kj} é parâmetro desconhecido, os erros ε_i possuem as suposições dadas em (2.68) e $\pi_{ki}(\mathbf{x})$ representa $\mathbb{P}(Y_i = k | \mathbf{x})$, com $i \in \{1, \dots, n\}$, $j \in \{0, \dots, r\}$ e $k \in \{0, \dots, q\}$.

Observação 2.9. Decorre da primeira igualdade apresentada na expressão (2.38) que $\exp[g_{0i}(\mathbf{x})] = 1$, e desta forma $\beta_{0j} = 0$, para qualquer $j \in \{0, \dots, r\}$. E, ainda, que para cada nível que a v.a. Y pode assumir tem-se $r + 1$ coeficientes. Ou seja, o modelo apresenta um total de $q(r + 1)$ coeficientes.

Seguindo-se a convenção apresentada no modelo dado por (2.1), tem-se que

$$\pi_k(\mathbf{x}) = \mathbb{P}(Y = k | \mathbf{x}), \text{ para } k \in \{0, \dots, q\}. \tag{2.41}$$

Proposição 2.19. *Uma expressão geral para as probabilidades condicionais em um modelo com $q + 1$ categorias é dada por*

$$\mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x}) = \frac{\exp[g_k(\mathbf{x})]}{\sum_{k=0}^q \exp[g_k(\mathbf{x})]},$$

onde $g_k(\mathbf{x})$ é dado pela expressão (2.38), para $k \in \{1, \dots, q\}$ e $g_0(\mathbf{x}) = 0$.

Demonstração: Da expressão (2.38) pode-se obter, pelo uso das propriedades de logaritmos,

$$\exp[g_k(\mathbf{x})] = \frac{\mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x})}{\mathbb{P}(Y = 0|\mathbf{x})}, \text{ para } k \in \{0, \dots, q\},$$

ou ainda

$$\mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x}) = \exp[g_k(\mathbf{x})]\mathbb{P}(Y = 0|\mathbf{x}). \quad (2.42)$$

Pela propriedade da probabilidade total tem-se que a soma das $q + 1$ equações apresentadas em (2.41) totalizam valor um, ou seja,

$$\sum_{k=1}^q \mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x}) = 1. \quad (2.43)$$

Substituindo a expressão (2.42) em (2.43), obtém-se

$$\sum_{k=1}^q \exp[g_k(\mathbf{x})]\mathbb{P}(Y = 0|\mathbf{x}) = 1,$$

o que, por propriedade de somatório, acarreta

$$\mathbb{P}(Y = 0|\mathbf{x}) = \frac{1}{\sum_{k=1}^q \exp[g_k(\mathbf{x})]},$$

e, substituindo-se este último resultado em (2.42), segue a afirmação. \square

Como nesta seção tem-se que T é uma v.a. de natureza politômica, com $q + 1$ valores, pode-se expressar uma observação como $y = \pi(\mathbf{x}) + \varepsilon$, e assim, a v.a. ε pode assumir $q + 1$ valores. Se $y_i = k$ então $\varepsilon_i = k - \pi(\mathbf{x}_i)$ com probabilidade $\mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x}_i)$, para qualquer $k \in \{0, \dots, q\}$ e $i \in \{1, \dots, n\}$.

Proposição 2.20. *A v.a. ε tem distribuição Multinomial com média zero e variância igual a da v.a. Y .*

Demonstração: Primeiramente avalia-se a esperança de ε dado x_i ,

$$\begin{aligned} \mathbb{E}(\varepsilon|\mathbf{x}_i) &= \sum_{k=0}^q \varepsilon_k \mathbb{P}(\varepsilon = \varepsilon_k|\mathbf{x}_i) \\ &= -\pi(\mathbf{x}_i)\mathbb{P}(Y = 0|\mathbf{x}_i) + \dots + (q - \pi(\mathbf{x}_i))\mathbb{P}(Y = q|\mathbf{x}_i) \\ &= -\pi(\mathbf{x}_i) \sum_{k=0}^q \mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x}_i) + \sum_{k=0}^q k \mathbb{P}(Y = k|\mathbf{x}_i) \\ &= -\pi(\mathbf{x}_i) + \mathbb{E}(Y|\mathbf{x}_i) = -\pi(\mathbf{x}_i) + \pi(\mathbf{x}_i) = 0. \end{aligned}$$

Agora, avalia-se a variância condicional de ε_i

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(\varepsilon|\mathbf{x}_i) &= \sum_{k=0}^q \varepsilon_k^2 \mathbb{P}(\varepsilon = \varepsilon_k | \mathbf{x}_i) = \sum_{k=0}^q (k - \pi(\mathbf{x}_i))^2 \mathbb{P}(Y = k | \mathbf{x}_i) \\
 &= \sum_{k=0}^q (k^2 - 2k\pi(\mathbf{x}_i) + \pi(\mathbf{x}_i)^2) \mathbb{P}(Y = k | \mathbf{x}_i) \\
 &= \sum_{k=0}^q k^2 \mathbb{P}(Y = k | \mathbf{x}_i) - 2\pi(\mathbf{x}_i) \sum_{k=0}^q k \mathbb{P}(Y = k | \mathbf{x}_i) + \\
 &\quad \pi(\mathbf{x}_i)^2 \sum_{k=0}^q \mathbb{P}(Y = k | \mathbf{x}_i) \\
 &= \mathbb{E}(Y^2 | \mathbf{x}_i) - 2\pi(\mathbf{x}_i) \mathbb{E}(Y | \mathbf{x}_i) + \pi(\mathbf{x}_i)^2 \\
 &= \mathbb{E}(Y^2 | \mathbf{x}_i) - \pi(\mathbf{x}_i)^2 = \text{Var}(Y | \mathbf{x}_i).
 \end{aligned}$$

□

Observação 2.10. Para se construir a função de verossimilhança é necessário introduzir $q+1$ variáveis auxiliares com o objetivo de simplificar a notação utilizada,

mas que não são empregadas em nenhuma análise posterior. As variáveis auxiliares são apresentadas da seguinte forma, se $Y = 0$ então $Y_0 = 1, Y_1 = 0, \dots, Y_q = 0$, se $Y = 1$ então $Y_0 = 0, Y_1 = 1, Y_2 = 0, \dots, Y_q = 0$, e assim, de forma geral, se $Y = k$ então $Y_k = 1$ e $Y_l = 0$, para $l \neq k$ e $l \in \{0, 1, \dots, q\}$.

Com base na Observação ??, pode-se definir uma matriz auxiliar Q como segue

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & & 1 \end{bmatrix}_{(q+1) \times (q+1)}, \quad (2.44)$$

onde os elementos q_{rs} da linha r correspondem, respectivamente, aos valores assumidos pelas variáveis auxiliares Y_k , com $r \in \{1, \dots, q\}$ e $k = r - 1$, quando $Y = k$.

É fácil perceber que não importa qual seja o valor assumido por Y , o somatório $\sum_{k=1}^q Y_k$ sempre totaliza um.

Proposição 2.21. A função de verossimilhança $L(\mathcal{B})$ para uma amostra de n observações independentes é dada por

$$L(\mathcal{B}) = \prod_{i=1}^n [\pi_0(\mathbf{x}_i)^{Y_{0i}} \pi_1(\mathbf{x}_i)^{Y_{1i}} \cdots \pi_q(\mathbf{x}_i)^{Y_{qi}}], \quad (2.45)$$

onde $\pi_i = \pi(\mathbf{x}_i)$, $\mathbf{x}_i = (x_{i0}, \dots, x_{ir})$ e $i \in \{1, \dots, n\}$.

Demonstração: Seguindo-se raciocínio desenvolvido na Proposição 2.3 para se obter a função de verossimilhança, se $y_i = k$, a contribuição para a função de verossimilhança é $\pi_k(\mathbf{x}_i)$ e usando-se a linha $i = r - 1$ da matriz dada por (2.44), então tem-se

$$\pi_0(\mathbf{x}_i)^{Y_{0i}} \pi_1(\mathbf{x}_i)^{Y_{1i}} \dots \pi_q(\mathbf{x}_i)^{Y_{qi}}.$$

Como sabemos as n observações são independentes, segue o resultado. \square

É comum se utilizar a função log de verossimilhança, obtida após aplicação de logaritmo natural em ambos os lados da expressão (2.45), assumindo a forma

$$\mathcal{L}(\mathcal{B}) = \ln \left\{ \prod_{i=1}^n [\pi_0(\mathbf{x}_i)^{Y_{0i}} \pi_1(\mathbf{x}_i)^{Y_{1i}} \dots \pi_q(\mathbf{x}_i)^{Y_{qi}}] \right\}. \quad (2.46)$$

Com base no resultado apresentado pela Proposição 2.21, pode-se apresentar uma forma de se obter o estimador de \mathcal{B} pelo método de máxima verossimilhança.

Teorema 2.22. *Assume-se o contexto da Definição 2.3. Seja \mathcal{B} o vetor de parâmetros relacionados com a probabilidade $\mathbb{P}(Y_i = k | \mathbf{x}_i)$, para $i \in \{1, \dots, n\}$ e $k \in \{0, \dots, q\}$. Então o estimador de \mathcal{B} , pelo método de máxima verossimilhança, denotado por $\hat{\mathcal{B}}$, é a solução das equações*

$$\frac{\partial \mathcal{L}(\mathcal{B})}{\partial \beta_{kj}} = \sum_{i=1}^n x_{ij} (y_{ki} - \pi_{ki}), \quad (2.47)$$

para $k \in \{1, \dots, q\}$, $j \in \{0, \dots, r\}$ e $\pi_{ki} = \pi_k(\mathbf{x}_i)$, com $x_{0i} = 1$ para qualquer i .

Demonstração: Ao se aplicar as propriedades de somatório e de logaritmo na função apresentada em (2.46), pode-se conseguir

$$\mathcal{L}(\mathcal{B}) = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{k=1}^q y_{ki} g_k(\mathbf{x}_i) - \ln \left[\sum_{k=1}^q \exp[g_k(\mathbf{x}_i)] \right] \right\}. \quad (2.48)$$

As equações de verossimilhança (2.47) são obtidas através das primeiras derivadas parciais de (2.48) com respeito a cada um dos $q(r+1)$ parâmetros desconhecidos.

Para simplificar a notação, define-se $\pi_{ki} = \pi_k(\mathbf{x}_i)$. Assim sendo, a forma geral das equações apresentadas em (2.48) é

$$\frac{\partial \mathcal{L}(\mathcal{B})}{\partial \beta_{kj}} = \sum_{i=1}^n x_{ij} (y_{ki} - \pi_{ki}),$$

para $k \in \{1, \dots, q\}$, $j \in \{1, \dots, r\}$ e $x_{0i} = 1$, para qualquer $i \in \{1, \dots, n\}$. \square

Observação 2.11. O estimador de máxima verossimilhança, $\hat{\mathcal{B}}$, é obtido igualando-se cada equação a zero e resolvendo o sistema para \mathcal{B} . A solução requer alguma técnica de cálculo iterativo da mesma forma que se fez necessário para o cálculo do estimador nos modelos com variável dependente binária.

Um método para avaliar a significância das variáveis foi apresentado na Seção 2.1 através do uso da estatística G , definida em (2.21).

Para acessar a significância dos $q(r+1)$ coeficientes no modelo apresentado pela Definição 2.3, o teste de razão de verossimilhança é baseado nesta mesma estatística, G , com a diferença de que a mesma apresenta, neste contexto, distribuição qui-quadrado com $q(r+1) - r$ graus de liberdade.

Teorema 2.23. *Assume-se o contexto da Definição 2.3. O teste de razão de verossimilhança de tamanho α é dado por*

$$\mathcal{H}_0 : \mathcal{B} = \mathbf{B} \text{ vs } \mathcal{H}_1 : \mathcal{B} \neq \mathbf{B}, \text{ para } \mathbf{B} \in \mathbb{M}_{(q+1) \times (r+1)}, \quad (2.49)$$

e rejeita-se \mathcal{H}_0 se $\mathbb{P}(\chi_{q(r+1)-r}^2 > G) < \alpha$, onde $\mathbb{M}_{(q+1) \times (r+1)}$ representa o conjunto de todas as matrizes de dimensão $(q+1) \times (r+1)$.

Demonstração: A prova de que a estatística G segue distribuição qui-quadrado com $q(r+1) - r$ graus de liberdade é consequência da demonstração da Proposição 2.27 e da Observação 2.15, que se encontram na Seção 2.4 deste capítulo.

A matriz das segundas derivadas parciais é necessária para se obter a matriz informação, $\mathbf{I}(\hat{\mathcal{B}})$, e o estimador da matriz de variâncias-covariâncias para $\hat{\mathcal{B}}$. A expressão geral dos elementos na matriz das segundas derivadas parciais é

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}(\mathcal{B})}{\partial \beta_{kj} \partial \beta_{kl}} &= - \sum_{i=1}^n x_{il} x_{ij} \pi_{ki} (1 - \pi_{ki}) \text{ e} \\ \frac{\partial \mathcal{L}(\mathcal{B})}{\partial \beta_{kj} \partial \beta_{kl}} &= \sum_{i=1}^n x_{il} x_{ij} \pi_{ki} \pi_{mi}, \end{aligned} \quad (2.50)$$

para $k, m \in \{1, \dots, q\}$ e $j, l \in \{0, 1, \dots, r\}$.

A matrix $\mathbf{I}(\hat{\mathcal{B}})$, de ordem $2(r+1)$, possui elementos que são simétricos aos valores encontrados nas expressões (2.50) quando avaliados em $\hat{\mathcal{B}}$.

O estimador da matriz de variâncias-covariâncias de $\hat{\mathcal{B}}$ é a inversa da matriz da informação, ou seja,

$$\widehat{Var}(\hat{\mathcal{B}}) = \mathbf{I}(\hat{\mathcal{B}})^{-1}. \quad (2.51)$$

Com base no resultado (2.51), pode-se apresentar o análogo multinomial ao Teste de Wald. A estatística deste teste é dada pela expressão

$$W = \hat{\mathcal{B}}' [\mathbf{I}(\hat{\mathcal{B}})] \hat{\mathcal{B}}.$$

Sabe-se que sob $\mathcal{H}_0 : \mathcal{B} = \mathbf{0}$, a estatística W possui distribuição qui-quadrado com $q(r+1)$ graus de liberdade. E, da mesma forma que seus análogos, este teste não apresenta vantagens computacionais sobre o teste da razão de verossimilhança.

Apresentam-se os intervalos de confiança para os coeficientes β_{kj} , com $k \in \{0, \dots, q\}$ e $j \in \{1, \dots, r\}$, de forma análoga ao caso binário, conforme afirma a proposição abaixo.

Proposição 2.24. *O intervalo a $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para β_{kj} é dado por*

$$\left[\hat{\beta}_{kj} - z_{\frac{\alpha}{2}} \widehat{SE}(\hat{\beta}_{kj}), \hat{\beta}_{kj} + z_{\frac{\alpha}{2}} \widehat{SE}(\hat{\beta}_{kj}) \right],$$

onde $z_{\frac{\alpha}{2}}$ é o quantil de uma normal padrão dado por $\mathbb{P}(z > z_{\frac{\alpha}{2}}) = \frac{\alpha}{2}$ e $\widehat{SE}(\hat{\beta}_{kj})$ representa o estimador do desvio padrão de $\hat{\beta}_{kj}$.

Observação 2.12. O estimador de $\widehat{SE}(\hat{\beta}_{kj})$ é a raiz quadrada do elemento da k -ésima linha e j -ésima coluna da matriz $\mathbf{I}(\hat{\mathcal{B}})^{-1}$.

Para a obtenção dos intervalos de confiança para os estimadores das funções *logits*, $g_k(\mathbf{x})$, com $k \in \{0, \dots, q\}$, utiliza-se a mesma idéia apresentada na Proposição 2.17. Entretanto, aqui expressa-se o *logit* em sua notação dada por (2.38).

O estimador da variância de $\hat{g}_k(\mathbf{x})$, representado por $\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]$, requer a obtenção da variância da soma, como feito em (2.37), resultando em

$$\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})] = \mathbf{x}' \widehat{Var}(\hat{\mathcal{B}}_k) \mathbf{x}. \quad (2.52)$$

O estimador $\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]$ pode ser obtido através do método Delta. Este método fornece valores dos desvios-padrão de estatísticas que podem ser representadas como função de outras estatísticas que possuem distribuição assintótica conjunta normal. A formalização do método Delta pode ser obtida em Agresti (1984) e Agresti (1990).

Proposição 2.25. *O intervalo a $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para $g_k(\mathbf{x})$, com $k \in \{0, \dots, q\}$ é dado por*

$$\left[\hat{g}_k(\mathbf{x}) - z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]}, \hat{g}_k(\mathbf{x}) + z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]} \right],$$

onde $\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]$ é dada pela expressão (2.52) e $z_{\frac{\alpha}{2}}$ é o quantil de uma normal padrão dado por $\mathbb{P}(z > z_{\frac{\alpha}{2}}) = \frac{\alpha}{2}$.

Demonstração: Decorre da Proposição 2.24, da expressão (2.23). □

Proposição 2.26. *O intervalo a $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para $\pi_k(\mathbf{x})$ é dado por*

$$\left\{ \frac{\exp \left[\hat{g}_k(\mathbf{x}) - z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]} \right]}{1 + \exp \left[\hat{g}_k(\mathbf{x}) - z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]} \right]}, \frac{\exp \left[\hat{g}_k(\mathbf{x}) + z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]} \right]}{1 + \exp \left[\hat{g}_k(\mathbf{x}) + z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]} \right]} \right\},$$

onde $\widehat{Var}[\hat{g}_k(\mathbf{x})]$ é dada pela expressão (2.52) e $z_{\frac{\alpha}{2}}$ é o quantil de uma normal padrão dado por $\mathbb{P}(z > z_{\frac{\alpha}{2}}) = \frac{\alpha}{2}$.

Demonstração: A prova desta afirmação segue raciocínio análogo ao realizado na Proposição 2.18. Sua validade é justificada através do Método Delta. Detalhes sobre este método podem ser obtidos em Agresti (1984) e Agresti (1990). □