

RELATÓRIO TÉCNICO COMPLEMENTAR – 2015

PROJETO NEUTRINOS ANGRA:

Monitoramento de Reatores Nucleares

1 – Introdução e Objetivos:

O fato dos reatores nucleares serem fontes abundantes de antineutrinos, provenientes da fissão nuclear dos elementos combustíveis, possibilita usá-los tanto para o estudo de propriedades fundamentais destas partículas como também para obter informações sobre a queima do combustível nuclear e a evolução de sua composição. O projeto Neutrinos Angra se propõe a explorar esta possibilidade: estudo da aplicação da detecção de antineutrinos para monitoramento de reatores nucleares. O presente projeto está centrado na construção de um detector e na realização de um experimento utilizando o reator nuclear brasileiro Angra II como fonte de antineutrinos para alcançar este objetivo.

2 – Motivação e Relevância:

Reatores nucleares são uma intensa fonte de antineutrinos e a potência térmica liberada no processo de fissão dos elementos combustíveis é diretamente relacionada com o fluxo de antineutrinos produzidos na reação em cadeia. Como os antineutrinos interagem muito fracamente com a matéria e escapam do reator sem nenhuma mudança significativa no seu número, a medida do fluxo de antineutrinos em um detector próximo ao reator pode dar informação em tempo real sobre o *status* do reator (ligado/desligado) e sua potência térmica.

O fato de dispormos do reator nuclear Angra II, no complexo nuclear de Angra dos Reis, nos possibilita fazer Física de Neutrinos no Brasil. O reator Angra II, com 4 GW de potência térmica, produz da ordem de 10^{20} antineutrinos por segundo. Nosso objetivo é construir um detector com 1 m³ de volume sensível, instalado a uma distância de 30m do reator, obtendo assim uma taxa de alguns milhares de interações de antineutrinos por dia. Utilizando o reator nuclear Angra II pretendemos desenvolver técnicas para monitorar reatores nucleares através da medida do fluxo de antineutrinos emitido. Estas técnicas permitem também, em princípio, estimar a composição isotópica do combustível nuclear no final do ciclo de combustível, através da espectroscopia de neutrinos¹, podendo vir a constituir-se numa nova ferramenta para o uso em programas de salvaguardas nucleares.

O monitoramento de reatores nucleares através de antineutrinos por poder ser feito remotamente em tempo real e por ser um método não intrusivo e que independe de informações repassadas pelo operador da central nuclear, despertou o interesse da Agência Internacional de Energia Atômica. Assim foi criado pela IAEA um painel de especialistas – *Ad Hoc Expert Advisory Working Group on the Use of Antineutrino Detection and Monitoring for Safeguards Purposes* – para assessorar a IAEA no estudo do potencial desta técnica para o uso futuro em salvaguardas nucleares. Assim o experimento Neutrinos Angra poderá contribuir para o desenvolvimento de uma nova tecnologia, representando uma potencial contribuição do Brasil, como Estado membro, para a IAEA.

¹ P. Huber e T. Schwetz, Phys. Rev. D 70, 053011, 2004

3 – RESUMO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO:

No período de vigência do projeto FINEP – 11/2007 a 11/2014 – seis das sete metas previstas foram concluídas e a última se encontra em fase de execução.

Meta 1 – O laboratório de neutrinos foi implantado em um contêiner de 28 m² localizado a uma distância de 30 m do núcleo do reator nuclear Angra II e está operacional.

Meta 2 – A linha de transmissão de dados entre o laboratório de neutrinos em Angra e o CBPF foi implantada e se encontra operacional.

Meta 3 – Foi realizada a medida do ruído de origem cosmogênica no laboratório: além da medida do fluxo de múons inicialmente prevista também fizemos a medida do fluxo da radiação eletromagnética local com a utilização de um detector de germânio. A existência de um laboratório já implantado e o conhecimento do ruído de fundo local possibilitou, como veremos mais adiante, a instalação de outro experimento no laboratório (CONNIE) e o estabelecimento de uma colaboração internacional para desenvolvimento de novas técnicas para detecção de neutrinos.

Meta 4 – Dada a impossibilidade de construção de um laboratório subterrâneo não foi necessário fazer uma prospecção do terreno. Em contrapartida a Eletronuclear nos cedeu um local na superfície bem mais próximo ao reator Angra II do que o previsto inicialmente no projeto, e onde a taxa de neutrinos incidentes no detector será quatro vezes maior. O novo local acarretou também uma mudança no tipo de detector para nos adequarmos às exigências de segurança da Eletronuclear. Assim o detector com cintilador líquido, material inflamável, foi substituído por um detector do tipo Cherenkov a água.

Meta 5 – Um detector de quatro volumes – alvo central, veto superior, veto inferior e veto lateral – foi projetado e construído e se encontra em fase de testes e integração com a eletrônica de front-end e a eletrônica de aquisição de dados.

Meta 6 – Foi projetado e desenvolvido um protótipo do módulo de aquisição de dados. Após vários testes o *design* final foi aprovado e os módulos para aquisição de dados foram encomendados a uma indústria brasileira (Cadservice) com a qual fizemos parceria para sua produção. Finalmente os módulos foram construídos e após entrega foram testados no CBPF. Atualmente parte deles foi instalada, como previsto, no experimento Double Chooz, na França – como parte da contribuição brasileira – e a outra parte está sendo utilizada na aquisição de dados do experimento Angra.

Meta 7 – A última meta – instalação do detector em Angra – se encontra atrasada.

No momento os diferentes componentes do detector foram construídos e estão sendo testados e integrados no CBPF onde estão sendo feitas medidas preliminares do background de raios cósmicos, que serão o ruído dominante em Angra.

No tocante ao orçamento, 100% das metas foram executadas com a compra do contêiner e montagem do laboratório, sensores óticos (fotomultiplicadoras), fontes de tensão, módulos eletrônicos comerciais, componentes para a fabricação da eletrônica de aquisição de dados e da eletrônica de front-end e equipamentos de computação para o armazenamento e análise de dados.

4 – SITUAÇÃO ATUAL DO PROJETO E PERSPECTIVAS FUTURAS:

Meta 7: Instalação e comissionamento dos detectores:

Atividade Técnica: instalação e integração dos detectores

Grupo de Pesquisa no período 2014-2015:

CBPF: João dos Anjos, Herman Lima, Gabriel Azzi, Fernando França, Marcelo Souza, R. Machado, Stefan Wagner, Otto Rocha e César Castromonte

UNICAMP: E. Kemp, Luis Fernando Gomez Gonzalez, Lucas Santos, Ohana Rodrigues

UFABC: Pietro Chimenti

UNIFAL: Gustavo Valdivieso, L.P. Andrade, A. Reis, S.V. Santos

UFJF: Rafael Nobrega, Tony Dornelas, T. Alvarenga, A. Siqueira, J. Costa

UFBA: Iuri Pepe, Dion Ribeiro, P.C. Farias, E. Simas Filho

UEFS: Germano Guedes

A última meta – instalação do detector em Angra – se encontra atrasada, devido entre outros fatores, ao falecimento de Ademarlaudo Barbosa, Tecnologista Senior, especialista em instrumentação científica e responsável pelo *design* do projeto do detector central, em um acidente de carro quando se dirigia a Angra para uma visita técnica. Laudo seria também o responsável pela montagem e instalação do detector em Angra. Seu falecimento coincidiu com a etapa de desenvolvimento do projeto, ainda em fase de protótipo de engenharia. Assim grande parte do desenvolvimento das soluções de instrumentação ficou incompleta e tiveram que ser repensadas.

O *design* final adotado para o detector é composto de quatro subsistemas:

- i) um tanque central de $1,3 \text{ m}^3$ que constitui o Alvo, um detector Cherenkov à água;
- ii) um tanque superior com 25 cm de altura que atua como blindagem e veto ativo de múons;
- iii) um tanque inferior com 25 cm de altura que atua como blindagem;
- iv) um tanque que envolve as laterais do detector central, com 25 cm de espessura, que atua como blindagem e veto ativo de múons.

Os três tanques de blindagem são preenchidos com água e servem para proteger a região do alvo central da radiação eletromagnética de baixa energia, da radioatividade natural externa e do ruído de nêutrons gerados por raios cósmicos de alta energia. Como os tanques de blindagem são instrumentados com fotomultiplicadoras podem atuar também como veto ativo de múons.

O tanque alvo central é preenchido com uma mistura de água e uma pequena porcentagem ($\sim 0,3\%$) de Cloreto de Gadolínio. A adição do composto de Gadolínio permite reduzir o tempo médio para a captura de nêutrons para cerca de $15\mu\text{s}$ e ao mesmo tempo aumentar a energia depositada na captura dos nêutrons devido a energia mais alta dos gamas produzidos na des-excitação do Gadolínio (8 MeV) em comparação com os produzidos na reação nêutron-próton (2,4 MeV).

O fluxo de antineutrinos do reator e as dimensões do alvo com $1,3 \text{ m}^3$ de volume deverão produzir uma taxa de interação de antineutrinos no detector da ordem de $4,8 \times 10^3$ eventos por dia, considerando a distância de 30 m do núcleo e os 4 GW de potência térmica do reator.

Todas as partes do detector já foram construídas.

Quem substituiu Ademarlaudo Barbosa, ficando responsável pela montagem e testes do detector, foi Iuri Pepe, Professor da Universidade Federal da Bahia. Foi necessário repensar todo o procedimento de montagem do detector e sua instalação na central nuclear.

Decidiu-se testar e calibrar o detector nos laboratórios do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF, antes de levá-lo para a central nuclear. Esta decisão visou minimizar o tempo de instalação em Angra, encontrar as melhores soluções de engenharia e também minimizar potenciais gargalos na montagem final do detector, pois há uma enorme

dificuldade em se trabalhar nas dependências da central nuclear por tempo prolongado. A entrada é restrita a uma pequena equipe de três a quatro pessoas e há necessidade de uma escolta permanente para acompanhar pesquisadores para visitas de curta duração. A entrada de material também é controlada e cada item deve ser aprovado e verificado antes de entrar na usina.

Por todas estas razões e também para reduzir os custos da operação de instalação, decidimos fazer uma primeira montagem do detector no CBPF para definirmos os procedimentos de instalação e também realizar testes preliminares, medidas de background de origem cosmogênica, calibração dos detectores com LEDs e fontes radioativas, visando caracterizar e entender o funcionamento do detector antes da instalação junto ao reator, diminuindo assim o tempo de permanência da equipe de instalação em Angra.

ATIVIDADES TÉCNICAS REALIZADAS EM 2014 e 2015:

Relatamos a seguir as atividades técnicas de instalação e integração desenvolvidas no CBPF no período novembro de 2014 a novembro de 2015. Estão também anexados a este relatório artigos e notas técnicas publicadas no período.

Detector Alvo Central

- forração da parte interna do alvo com Tyvek, material difusor de luz
- montagem do alvo central com 16 fotomultiplicadoras
- montagem do sistema de filtragem e produção de água ultra pura
- enchimento do detector com água ultra pura e vedação contra entrada de luz
- teste da eletrônica de front-end produzida pela UFJF
- teste da eletrônica de aquisição de dados produzida pelo CBPF
- desenvolvimento do software de aquisição de dados
- aquisição de dados de background, especialmente múons
- análise dos dados para caracterização do sinal das PMTs e resposta do detector

Blindagem lateral

- redesenho das paredes laterais para comportar as fotomultiplicadoras que farão parte do veto ativo lateral
- confecção de estrutura suporte para as fotomultiplicadoras do veto lateral
- confecção de blindagem com chapas de polietileno para cobrir o tanque alvo acima do nível da água.

Detector de Veto Superior

- construção de estrutura de suporte para chapa de polietileno que cobre o tanque.
- forração da parte interna do veto com Tyvek, material difusor de luz
- instrumentação do volume com 4 PMTs, uma em cada lateral do tanque.
- vedação e fechamento do tanque.
- teste de luz e contagem de eventos com sinal em duas ou mais fotomultiplicadoras.

Detector de Veto Inferior

- construção de grade em polipropileno para suporte do tanque de blindagem lateral.
- forração da parte interna do veto com Tyvek, material difusor de luz.
- instrumentação do volume com 4 PMTs, uma em cada lateral do tanque.
- vedação e fechamento do tanque.
- teste de luz e contagem de eventos com sinal em duas ou mais fotomultiplicadoras.

Desenvolvimento de um sistema de purificação da água

Foram comprados diferentes tipos de filtro para assegurar a qualidade e a transparência da água, essencial para o bom funcionamento do detector. Foram feitos também testes de purificação e medida do volume de água do detector central, importante para determinar o número de prótons no alvo e estimar o número de interações neutrino - próton.

Testes, análise dos dados coletados no detector alvo montado com 16 PMTs

- Comparação dos sinais obtidos nos dois vetos e estimativa da atenuação do sinal no tanque inferior devido à grade de policarbonato.

- Testes da eletrônica de *front-end* e do módulo de aquisição. Este estudo gerou uma nota técnica, uma dissertação de mestrado e apresentações em conferências.

- Aquisição de dados de eventos que geram coincidência em duas ou mais PMTs para calcular o fluxo de múons. Este resultado gerou uma dissertação de mestrado.

- Desenvolvimento de um sistema de calibração com uso de LEDs:

A calibração com LEDs (Light Emitting Diode) em intervalos de tempo regulares permitirá monitorar a estabilidade da resposta do detector ao longo do tempo.

Mostramos na figura 1 o sistema de calibração que usa 3 LEDs de diferentes comprimentos de onda. Este sistema foi montado em outubro 2015 na tampa do alvo central em 6 posições diferentes e deverá permitir monitorar o ganho de cada PMT da base do detector e eventuais variações na qualidade (transparência) da água. Este resultado deverá gerar uma Nota Técnica que se encontra em preparação.

Foi colocado também na tampa superior um tubo para penetração de fontes radioativas para o estudo da resposta do detector a absorção de nêutrons pelo hidrogênio ou pelo Gadolínio e para a calibração em energia do sinal observado.



Figura 1: montagem de sistema de calibração usando três LEDs de diferentes comprimentos de onda.

Simulação do Detector:

Foi realizada uma simulação Monte Carlo completa do detector, utilizando o código GEANT4. Esta simulação contribuiu para determinar a concentração ideal de Cloreto de Gadolínio que deveremos utilizar na dopagem da água do alvo Cherenkov, para a estimativa do número de eventos de antineutrinos que poderemos observar, e principalmente para a estimativa do ruído de raios cósmicos. A simulação possibilitou o estudo e a definição de estratégias de análise dos dados.

O desenvolvimento desta simulação e a análise dos resultados foram o tema da tese de doutorado de Marcelo Souza defendida no CBPF em março de 2015:

- desenvolvimento do programa de simulação do detector usando GEANT4.
- simulação do sinal de antineutrinos e das componentes do background cosmogênico.
- mistura dos eventos de sinal e das componentes do ruído segundo suas frequências.
- análise dos eventos simulados e estudo de cortes para a separação sinal-ruído.

- estimativa da eficiência de detecção dos eventos de neutrinos
- definição de estratégias para extração do sinal de antineutrinos dos dados simulados.

Previsão dos próximos passos:

- (i) Preenchimento do *target* com água e teste das 32 fotomultiplicadoras (PMTs).
- (ii) Montagem das fotomultiplicadoras no volume interno de *shielding*.
- (iii) Preenchimento do *shielding* com água e teste das 4 PMTs do volume interno.
- (iv) Montagem do veto superior sobre o *shielding*, teste e medidas de coincidência.
- (v) teste dos novos módulos da eletrônica de front-end
- (vi) teste dos novos módulos da eletrônica de aquisição NuDAQ
- (vii) teste da eletrônica de Slow Control
- (viii) conclusão e validação do programa de aquisição de dados
- (ix) calibração do detector com LEDs e fonte radioativa
- (x) aquisição e análise dos dados do detector com as 32 fotomultiplicadoras
- (xi) atualização da simulação Monte Carlo com a geometria final do detector
- (xii) Preparação da montagem do detector Neutrinos Angra no sítio.

Como vemos o projeto obteve grandes avanços no último ano e já se encontra na fase de montagem, testes e calibrações.

Todos os problemas encontrados até o momento foram superados.

Fizemos então em 2015 a montagem do detector no CBPF, iniciamos os testes e ao mesmo tempo estamos automatizando o sistema de aquisição de dados. A conclusão dos testes e da calibração do detector está prevista para o final de 2015.

A maior dificuldade que temos encontrado é manter um ritmo de trabalho adequado, pois a maioria dos colaboradores é de universidades de outros Estados e dispõem de tempo limitado para o projeto devido a alta carga didática que têm nas atividades de ensino. Entretanto conseguimos recentemente reforçar o grupo de instrumentação do CBPF com um estudante de mestrado (Otto Rocha) e um pós-doc (César Castromonte), o que permitirá manter um ritmo adequado e terminar o pré-comissionamento do detector até o final do ano.

Como pode ser visto pelo relatório e pelas publicações em anexo o projeto fez grandes progressos no último ano. Já temos resultados de medidas do background de raios cósmicos, que constituem a maior fonte de ruído para o experimento. Estes resultados são importantes pois permitem conhecer a resposta do detector ao ruído local e estabelecer critérios para a separação sinal-ruído.

O transporte e a instalação do detector para Angra ocorrerá no primeiro semestre de 2016 e vai depender de uma janela de tempo comum para toda a equipe de montagem e de acordos com a Eletronuclear, que concordou em dar o apoio logístico local e definirá qual o melhor período.

Resultados esperados para 2016:

1. Montagem de todos os componentes no container próximo ao reator
2. Teste e comissionamento de todo o sistema em Angra
3. Realização de medidas preliminares
4. Análise e interpretação dos resultados
5. Monitoramento em tempo real da potência térmica do reator Angra II
6. Competência adquirida na detecção de neutrinos com detectores Cherenkov
7. Aplicação de detectores de neutrinos para desenvolvimento de novos métodos de salvaguardas nucleares

5- IMPACTO NA REDE NACIONAL DE PESQUISA E DESDOBRAMENTOS

Após os experimentos com emulsões nucleares na década de 60 o projeto Neutrinos Angra deverá ser o primeiro experimento em Física de Partículas a ser totalmente concebido, construído e operado no Brasil. Normalmente experiências nesta área requerem a construção de grandes aceleradores de partículas, de custo muito elevado, como os existentes no CERN (Suíça) e no FERMILAB (Estados Unidos), impossibilitando a realização de tais projetos em nosso país. No caso presente estamos aproveitando um investimento de bilhões de dólares já realizado pelo governo brasileiro na construção do complexo nuclear de Angra dos Reis para impulsionar a Física Experimental de Neutrinos no Brasil. Um experimento como o Neutrinos Angra além de seu potencial científico e tecnológico impulsionará e incentivará a comunidade brasileira ligada a esta área da ciência, fortalecendo trabalhos de caráter interdisciplinar e promovendo uma interação com a indústria nacional para a fabricação dos componentes eletrônicos e outros sistemas.

A implantação de um laboratório de neutrinos junto ao reator Angra II graças ao projeto FINEP (ver figura 2) possibilitou também novas parcerias internacionais do Brasil (CBPF e UFRJ) com o Fermilab (USA), UNAM (México), Universidade de Zurich (Suíça), Universidade Nacional del Sur (Argentina), Universidade Nacional de Assunção (Paraguai) através do experimento CONNIE (Coherent Neutrino Nucleus Interaction Experiment).



Figura 2: laboratório de neutrinos instalado a uma distância de 30 m do núcleo do reator nuclear Angra II

O experimento CONNIE foi aprovado pelo Fermilab em abril 2014 dentro do programa Laboratory Directed Research & Development – LDRD (<http://ldrd.fnal.gov/>) destinado a apoiar projetos cientificamente criativos, de alto risco e alta recompensa, para a demonstração de novas idéias, conceitos técnicos e novos instrumentos ou detectores. Foi um dos sete projetos aprovados em 2014 entre cinquenta concorrentes. O experimento CONNIE dedicado ao estudo do espalhamento coerente de neutrinos em núcleos atômicos caso seja bem sucedido fará a primeira observação desta interação prevista no modelo padrão das partículas elementares mas ainda não observada experimentalmente e será pioneiro no uso de *Charged Coupled Devices* – CCDs como detectores de neutrinos, resultando numa inovação

tecnológica importante e possibilitando a redução, para algumas aplicações, do tamanho dos detectores de neutrinos.

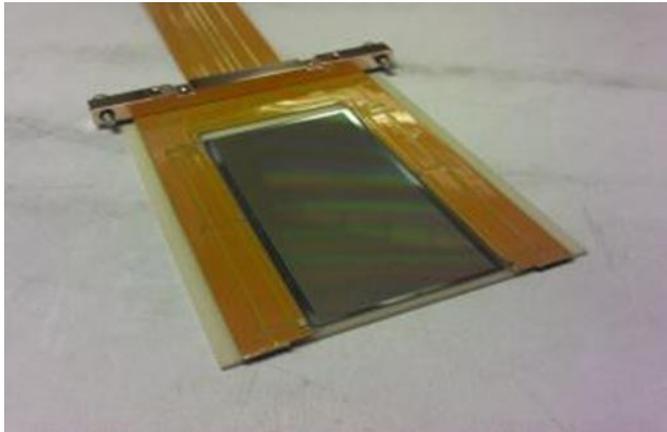


Figura 3: CCD do experimento CONNIE e o início de sua montagem no laboratório de neutrinos em Angra

Um protótipo do detector CONNIE com 4 CCDs de 5 g começou a ser montado em setembro de 2014 no laboratório de neutrinos em Angra e desde novembro de 2014 está tomando dados, demonstrando a viabilidade da utilização do laboratório de neutrinos montado em Angra com o projeto FINEP. Os resultados obtidos até o momento são promissores e em setembro de 2015 foi aprovado um upgrade do alvo do detector para uma massa de 100 g de CCDs, que deverão ser instalados em Angra em junho de 2016.

Nada disto seria possível sem o apoio recebido da FINEP.

Informações mais detalhadas sobre o projeto ANGRA podem ser encontradas no link abaixo:

<http://lsd.cbpf.br/neutrinos/>

A produção científica /técnica associada ao projeto no período se encontra no Anexo a seguir.

Rio de Janeiro, 15 de novembro de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'João Carlos Costa dos Anjos'.

João Carlos Costa dos Anjos
Coordenador do Projeto Neutrinos Angra

ANEXO

Produção científica e atividades desenvolvidas no período 01/2014 -11/ 2015

Palestras convidadas e Posters em eventos internacionais:

1. El Experimento Neutrinos Angra
Taller Temático de Vinculación “Física y Astrofísica de Altas Energías”
Guanajuato, Mexico, 27 e 28 de janeiro de 2014
2. Complete Simulation of the Angra Neutrino Project
Poster Session, ID-87
XXVI International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics
Boston, USA, 2-7 de junho de 2014
3. Using Neutrinos to Monitor Nuclear Reactors:
The Angra Neutrino Experiment, Simulation and Detector Status
X Latin American Symposium on High Energy Physics – SILAFAE 2014
Medellin, Colombia, 24 a 28 de novembro de 2014
4. Using Neutrino to Monitor Nuclear Reactors:
The ANGRA experiment and new detector technologies: the CONNIE experiment
Antineutrino Applied Physics, AAP-2014
Laboratoire de Astroparticules et Cosmologie – APC, Paris, 15 e 16 de dezembro de 2014
5. Status of the Angra Experiment
Pietro Chimenti for the Angra Collaboration
XVII International Workshop on Neutrino Factories and Future Neutrino Facilities -NuFact15
CBPF, Rio de Janeiro, 10-15 de Agosto de 2015

Palestras convidadas e Posters em eventos nacionais:

1. Using Neutrinos to Monitor Nuclear Reactors:
The Angra Neutrino Experiment, Simulation and Detector Status (Poster)
G.A. Valdiviesso, on behalf of the Angra Collaboration
XXXVI Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos / ID: 240-1 [EXP04]
Caxambú, MG, 14 a 18 de setembro de 2015
2. Experimento Neutrinos Angra: Status da Simulação (Poster)
G. A. Valdiviesso, em nome da Colaboração Neutrinos Angra
XXXVI Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos / ID: 240-2 [EXP04]
Caxambú, MG, 14 a 18 de setembro de 2015
3. Testes dos subsistemas do detector do experimento Neutrinos ANGRA usando o fluxo de múons da radiação cósmica. (Poster)
Otto Rocha, em nome da Colaboração Neutrinos Angra
XXXVI Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos / ID: 213-1 [EXP04]
Caxambú, MG, 14 a 18 de setembro de 2015
4. Física de Altas Energias e a Indústria: uma colaboração de sucesso. (Poster)
Luis Fernando Gomez Gonzalez

II Encontro Nacional de Física na Indústria
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 10-11 de agosto de 2015

5. Análise de sinais de um detector de múons. (Poster)

Germano Pinto Guedes
XXXII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste
João Pessoa, PB, 17-21 de novembro de 2014

6. Cálculo da Energia Depositada por Múons da Radiação Cósmica em Vários Meios Materiais de Interesse. (Poster)

Germano Guedes
XXXII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste
João Pessoa, PB, 17-21 de novembro de 2014

7. O tubo fotomultiplicador e aplicações em detecção de partículas (Poster)

Germano Guedes
XXXII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste
João Pessoa, PB, 17-21 de novembro de 2014

8. Physics in Brazil Development and Partnership with Industries (Palestra)

Ricardo Galvão (citação do projeto Angra)
AIP ICTP Industrial Physics Forum 2014
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 01 de outubro de 2014
<https://www.youtube.com/watch?v=YV5FVD9aQAs> (Angra no tempo: 22:52).

Teses e Monografias defendidas sobre o experimento Neutrinos Angra:

Tese de doutorado:

Marcelo Jorge Nascimento Souza. Orientadores: J. C. Anjos e G. Valdiviesso
Análise de Monte Carlo e Detecção de Antineutrinos no Experimento Neutrinos Angra
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF – 09 de Março 2015

Dissertação de Mestrado:

Tony Igor Dornelas. Orientador: Rafael Antunes Nóbrega
Medidas de Caracterização do Sensor, da Eletrônica de Leitura e do Detector Alvo do Projeto Neutrinos-Angra.
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Juiz de Fora, 26 de fevereiro de 2015

Dissertação de Mestrado:

Lucas Mendes Santos. Orientador E. Kemp
"Estudo de Eficiência do Sistema de Veto do Experimento Neutrinos-ANGRA".
Universidade Estadual de Campinas – IFGW, Campinas, 19 de dezembro de 2014

Dissertação de Mestrado:

José Abritta Costa. Orientador: Augusto Santiago Cerqueira
Eletrônica de Front-End do Experimento Neutrinos-Angra
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Juiz de Fora, 29 de agosto de 2014

Monografia de Conclusão de curso:

Upiratan Silva Ribeiro Machado. Orientador: J. Anjos e C. Bonifazzi

Medida do nível de radiação eletromagnética ao nível do mar e estudo de sua atenuação por blindagem de chumbo.

Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ, 14 de outubro de 2014

Monografia de Conclusão de Curso

Ohana Benevides Rodrigues. Orientador: E. Kemp

Título: Medidas de transmitância a para o experimento Neutrinos Angra.

Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Julho de 2014

Monografia de Conclusão de Curso

Otto Rocha. Orientador: Germano Guedes

Estudo, Montagem e Testes de um Detector de Radiação Cherenkov

Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, julho de 2014

Projetos de Iniciação Científica: Desenvolvimento de Instrumentação para o Projeto Neutrinos – ANGRA. [Resolução CONSEPE/UEFS 115/2008]

2014

- Estudo e operação de uma PMT sensível à posição

Aluno: Ricardo Boaventura; Orientador: Germano Guedes

- Programa para aquisição de dados de um analisador multicanal

Aluno: Lauro Mascarenhas; Orientador: Germano Guedes

- Estudo e testes com funcionamento de um tubo fotomultiplicador

Marcos Fontes; Orientador: Germano Guedes

- Construção e testes de um detector de radiação Cherenkov

Aluno: Otto Rocha; Orientador: Germano Guedes

2015

- Construção de um novo telescópio de múons

Aluno: Marcos Fontes; Orientador: Germano Guedes

- Estudo do calorímetro eletromagnético

Aluno: Ricardo Boaventura; Orientador: Germano Guedes

Financiamentos Aprovados:

Laboratório para desenvolvimento e calibração de dispositivos p/ projeto Neutrinos Angra
Edital MCT/CNPq nº 014/2013 Universal, Faixa B. Valor: R\$32,000,00 - liberado em 2014.
Coordenador: Germano Guedes, UEFS

Edital MCT/CNPq nº 014/2013 Universal, Faixa B. Valor: R\$32,000,00 - liberado em 2014.
Coordenador: Gustavo Valdiesso, UNIFAL

Edital FAPEMIG 2014 : Valor R\$47.200,00
Coordenador: Rafael Nobrega, UFJF

Artigos Publicados e Notas Técnicas:

Using Neutrinos to Monitor Nuclear Reactors:
the Angra Neutrino Experiment, Simulation and Detector Status
Nuclear and Particle Physics Proceedings (2015) pp. 108-115
DOI: 10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.090

Neutrinos-Angra detector Slow-Control module design and implementation status.
Oliveira, K. ; Silva, G. ; Silva M. ; Farias, P. C. M. A. ; Simas Filho, E. ; Lima Jr, H.
2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology, Montevideo.
Conference (I2MTC) Proceedings. v. 1. p. 1031-1035.

Hands-On Activities In Experimental High-Energy Physics For Attraction And Motivation To
Engineering Careers.
Simas Filho, E. F. ; Pena, F. L. A. ; Albuquerque, M. C. S. ; Farias, P. C. M. A. ; Reis, M.
International Journal of Electrical Engineering Education, 2015.

Front-End Electronics of the Neutrinos Angra Project
José Abritta Costa, Tony I. Dornelas, Rafael A. Nóbrega and Augusto S. Cerqueira
Telecommunications and Signal Processing Laboratory (LAPTEL)
Federal University of Juiz de Fora (UFJF)

Readout Electronics Validation and Target Detector Assessment for the Neutrinos Angra
Experiment
Alvarenga, T. A., Anjos, J. C., Azzi, G., Cerqueira, A. S., Chimenti, P., Costa, J. A, Dornelas,
T. I.Farias, P. C. M. A, Guedes, G. P.,Gonzalez, L. F. G., Kemp, E., Lima Jr, H. P., Machado,
R., Nobrega, R. A, Pepe, I. M., Ribeiro, D. B. S., Simas Filho, E. F., Valdivieso, G.A.,
Wagner, S.
Submitted to Nuclear Physics A, July 2015

Data Acquisition with Optimal Pulse Amplitude Estimation for a Neutrino Detection
Experiment
H. P. Lima Jr, L.M. Andrade Filho, L.F.G. Gomez, R.G. Gama
CBPF, Notas Técnicas, v. 4, n. 2, p. 34–41, 2014
[dx.doi.org/10.7437/NT2236-7640/2014.02.006](https://doi.org/10.7437/NT2236-7640/2014.02.006)

Trigger de Primeiro Nível para o Experimento Neutrinos Angra: proposta e implementação.
João Marcelo Silva Souza, Eduardo Furtado de Simas Filho, Paulo Cesar Machado de Abreu
Farias, Herman Pessoa Lima Junior e Rafael Antunes Nóbrega.
XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT2015
UFJF, Juiz de Fora, 1-4 de setembro de 2015

Estudo para o sistema de calibração do experimento Neutrinos Angra:
Proposta do espectro de interesse para os LEDs
Luis Fernando Gomez Gonzalez
Nota técnica, UNICAMP, Julho 2015

Front-end Electronics for the Neutrino-Angra Nuclear Reactor Monitoring Detector

T.I. Dornelas, F. T. H. Araujo, A. S. Cerqueira, J. A. Costa, R. A. Nobrega, for the Angra Collaboration
Nota técnica, UFJF

Estudo do impacto de filtros digitais aplicados ao sinal de saída do circuito de front-end do Projeto Neutrinos-Angra
Nota Técnica, UFJF: Angra Note 21

Simulation of the Angra Neutrinos Project I: primary generators, G4 simulation and S/N for neutrino detection.
Authors: P.Chimenti, G.Valdiviesso, M.Souza, J.Anjos, T.Junqueira, T.Abrahão
CBPF, Angra Note 20

First Measurement Campaign using the Target Detector and a Full Readout Chain for the Neutrinos Angra Project
Anjos, J. C., Azzi, G. Cerqueira, A. S., Chimenti, P., Costa, J. A., Dornelas, T. I., Farias, P. C. M. A., Guedes, G. P., Gonzalez, L. F. G., Kemp, E., Lima Jr, H. P., Machado, R., Nóbrega, R. A., Pepe, I. M. , Ribeiro, D. B. S., Simas Filho, E. F. , Valdiviesso, G. A., Wagner, S.
Nota Técnica - Angra Note 022, 2015

Outras atividades desenvolvidas em 2014 e 2015:

Visitas técnicas ao CBPF para montagem do detector:

Iuri Muniz Pepe, Universidade Federal da Bahia, UFBA
Período: 06 a 16 de maio de 2014 – Bolsa PCI/MCTI

Iuri Muniz Pepe, Universidade Federal da Bahia, UFBA
Período: 18 a a 29 de agosto de 2014 – Bolsa PCI/MCTI

Luis Fernando Gomez Gonzales, UNICAMP
Período: 26 janeiro a 05 de fevereiro – bolsa UNICAMP

Rafael Nóbrega, Universidade de Juiz de Fora
Período: 10-13 de fevereiro de 2015 - Fapemig

Iuri Muniz Pepe, Universidade Federal da Bahia, UFBA
Período: 19 a 24 de fevereiro de 2015 – Bolsa PCI/MCTI

Pietro Chimenti, Universidade Federal do ABC
Período 10-15 de Agosto de 2015 – NuFact 2015

Iuri Muniz Pepe, Universidade Federal da Bahia, UFBA
Período: 24 de setembro a 06 de outubro de 2015 – Bolsa PCI/MCTI
Objetivo: Montagem e testes do detector Neutrinos Angra.

Relatório de visita técnica – outubro 2015

Introdução:

O detector de neutrinos desenvolvido pelo projeto Neutrinos Angra encontra-se em fase final de montagem e comissionamento antes de ser instalado nas dependências da Usina Nuclear de Angra dos Reis.

A importância deste tipo de detector dispensa maiores discussões, na época atual, por conta das diferentes tensões internacionais envolvendo o oriente médio e a Europa do leste, o controle da alocação e da movimentação de combustível nuclear é de suma relevância para o controle e a inibição da proliferação de armamento nuclear, incluindo as ditas bombas sujas. O impacto positivo de um detector deste tipo pode ser mais bem apreciado se lembrado o fato do Premio Nobel de Física de 2015 ter sido atribuído à pesquisa dos neutrinos e de suas oscilações de sabor.

Somente a título informativo, para facilitar a leitura e a compreensão deste relatório, o detector desenvolvido pode ser dividido em 4 diferentes volumes (a) volume central ou *target*, (b) volume principal ou *shielding*, (c) tanque inferior ou veto ativo inferior e (d) tanque superior ou veto ativo superior. É também importante dizer que a visita aqui reportada é a quarta visita de uma serie durante a qual vêm sendo feitos diferentes acertos no detector.

Atividades desenvolvidas:

- (1) Escoamento da água do *target*, em uma visita precedente o volume central do detector foi instrumentado com 16 fotomultiplicadoras (PMTs) e preenchido com aproximadamente 1300 litros de água pura. Estes sensores de luz foram polarizados e tiveram seus sinais adquiridos pelo sistema eletrônico desenvolvido para este propósito, a mesma água permaneceu por um ano e um mês estocada no volume central.
- (2) Análise visual e registro fotográfico da água.
- (3) Limpeza e início da preparação da tampa superior do *target* para instalação as ultimas 16 fotomultiplicadoras que compõem o volume central do detector.
- (4) Montagem de um sistema de iluminação baseado em diodos emissores de luz (LED), com 3 diferentes cores, que será empregado na calibração dos PMTs.
- (5) Limpeza por lavagem e esfregação do revestimento de *tyvek* do volume central.
- (6) Recabeamento e checagem do posicionamento das fotomultiplicadoras inferiores do *target*.
- (7) Desmontagem e remontagem da cobertura de *tyvek* do *grid* refletor da parte inferior do *target*
- (8) Montagem da cobertura de *tyvek* do *grid* refletor da parte superior.
- (9) Montagem das 16 fotomultiplicadoras nas réguas de fixação.
- (10) Montagem das réguas com PMTs na tampa do *target*.
- (11) Montagem das réguas na tampa.
- (12) Limpeza do volume interno e dos volumes externos do tanque *shielding*.
- (13) Instalação do revestimento de *tyvek* do volume interno do tanque *shielding*.
- (14) Instalação do *target* (sem tampa) no volume interno do *shielding*.
- (15) Instalação da tampa do *target* e passagem dos cabos das PMTs.
- (16) Entrega do detector central montado (*target* + *shielding*)

Previsão dos próximos passos:

- (i) Preenchimento do *target* com água e teste das 32 fotomultiplicadoras.
- (ii) Montagem das fotomultiplicadoras no volume interno de *shielding*.
- (iii) Preenchimento do *shielding* com água e teste das 4 fotomultiplicadoras do volume interno.
- (iv) Montagem do veto superior sobre o *shielding* e teste.
- (v) Preparação da montagem do detector Neutrinos Angra no sítio.