CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ

UPGRADE DO EXPERIMENTO CREAT DE MONITORAÇÃO DE RAIOS CÓSMICOS PARA O MÓDULO CRIOSFERA I

Por:

Lucas Jean Vidal dos Santos Silva

Orientadores:

Ulisses de Freitas Carneiro da Graça (CEFET)

André Massafferri Rodrigues (CBPF)

Rio de Janeiro

Dezembro de 2019

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ

UPGRADE DO EXPERIMENTO CREAT DE MONITORAÇÃO DE RAIOS CÓSMICOS PARA O MÓDULO CRIOSFERA I

Por:

Lucas Jean Vidal dos Santos Silva

Projeto final de curso apresentado em cumprimento às

normas do Departamento de Educação Superior

do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção

do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica

Aprovado por banca examinadora mediante defesa oral

pública realizada às , no

auditório do CEFET/RJ (unidade sede - Maracanã)

Orientadores:

Ulisses de Freitas Carneiro da Graça (CEFET)

André Massafferri Rodrigues (CBPF)

Banca examinadora:

Dra. Luciana Faletti Almeida (CEFET)

Dr. André Massafferri Rodrigues (CBPF)

Prof. Ulisses de Freitas Carneiro da Graça (CEFET)

Rio de Janeiro

Dezembro de 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram a chegar até aqui, em especial a minha família e a todos os professores que, desde os níveis mais fundamentais até os mais específicos, me educaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), por toda a infraestrutura disponibilizada para a execução deste projeto, ao pesquisador André Massafferri e ao professor Ulisses Carneiro pela orientação dada e a todos os que contribuíram direta ou indiretamente com a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Alterações climáticas globais têm atraído grande atenção da comunidade científica internacional devido ao elevado potencial de interferência que apresentam à atividade humana. Entender o que provoca tamanhas alterações é fundamental para que se possam compreender as variações climáticas e estabelecer a contribuição humana à mesma. Recentemente foi proposta a existência de relação direta entre o fluxo de radiação cósmica galáctica e a formação de núcleos de condensação, o primeiro estágio para a formação de nuvens. A plataforma continental antártica apresenta características únicas que fazem com que o fluxo de radiação cósmica tenha um efeito potencialmente diferenciado e efetivo em relação a outras regiões do planeta. O objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo eletrônico capaz de efetuar monitoração de fluxo da radiação cósmica galáctica, operando de forma totalmente autônoma e ininterrupta em condições climáticas extremas no módulo Criosfera I – situado no interior da Criosfera Antártica (latitude 84ºS) – executando assim a primeira fase do projeto CRE@AT (Cosmic Rays Experiment at Antarctica).

Palavras-chave: Clima; Radiação Cósmica Galáctica; Instrumentação Eletrônica

ABSTRACT

International scientific communities have shown great interest in climate change due to the intense interference of human activities. It is essential to understand what causes strong climate variations and analyze the influence of human activities in this process. Recently, studies indicate that there maybe a direct relation between cosmic radiation flow and the formation of condensation nucleus, which is the first stage of the formation of clouds. Antarctic continental shelves present unique characteristics that allow cosmic radiation flow to have a potentially unique and powerful effect in relation to other areas of the planet. The aim of this work is to develop an electronic device capable of monitoring autonomously and uninterruptedly cosmic radiation in severe climate conditions of Module Cryosphere I – situated in the interior of the Antarctic continental shelf (latitude 84ºS) – which is the first part of this project CRE@AT (Cosmic Rays Experiment at Antarctica).

Keywords: Climate, Galactic Cosmic Rays, Electronic Instrumentation

SUMÁRIO

[1.1 Motiva¸c˜ao 4](#_Toc27429827)

[1.2 Continente Ant´artico 13](#_Toc27429828)

[1.3 Projeto CRE@AT 15](#_Toc27429829)

**Cap´ıtulo 1 Introdu¸c˜ao**

Estudos indicam que ocorrem varia¸c˜oes na forma¸c˜ao de nuvens devido a` incidˆencia de radia¸c˜ao c´osmica, tendo, assim, implica¸c˜oes no clima do planeta. Considerando a dire¸c˜ao do campo magn´etico, o tamanho reduzido da atmosfera e a ausˆencia de elementos pesados presentes no Polo Sul, um estudo sobre a correla¸c˜ao da radia¸c˜ao c´osmica e o clima no continente ant´artico se faz importante para o seu maior entendimento. Essas carac- ter´ısticas u´nicas do continente, causam aumento significativo no fluxo dos raios c´osmicos gal´acticos (RCG) que chegam em sua superf´ıcie, e o m´ınimo de interferˆencia humana em seu ecossistema o torna um excelente laborat´orio natural, o que nos motivou no desenvol- vimento do projeto CRE@AT (*Cosmic Ray Experiment at Antarctica*), dedicado ao estudo e monitoramento de raios c´osmicos no continente ant´artico.

Os raios c´osmicos s˜ao part´ıculas energ´eticas provenientes do espa¸co que fornecem informa¸c˜oes importantes acerca do sistema solar e do Universo. Essas part´ıculas interagem na alta atmosfera gerando outras part´ıculas atrav´es de processos f´ısicos bem conhecidos. A maior parte das part´ıculas geradas nesse processo interagem com os elementos da atmosfera e s˜ao absorvidas, entretanto algumas part´ıculas, como os mu´ons, conseguem chegar at´e a superf´ıcie e serem detectadas por instrumentos de detec¸c˜ao, agindo, assim, como indicativos da presen¸ca de raios c´osmicos.

Em 12 de janeiro de 2012 foi inaugurado o m´odulo avan¸cado de pesquisa cient´ıfica brasileiro Criosfera 1, que viabilizou pesquisas de diversas ´areas da ciˆencia e nos permi- tiu instalar o experimento CRE@AT. Devido a`s condi¸c˜oes peculiares do m´odulo, onde a infraestrutura de energia e transmiss˜ao de dados ´e limitada e o frio ´e intenso (-60o C no inverno), ´e necess´ario que haja uma completa autonomia da instrumenta¸c˜ao. Assim, todos

os itens do experimento tiveram que ser cuidadosamente desenhados, produzidos e testados no laborat´orio do CBPF.

O projeto propˆos o desenvolvimento de trˆes experimentos de raios c´osmicos, em que o primeiro, chamado de CREAT1 e considerado um piloto para a viabiliza¸c˜ao do projeto, foi produzido e enviado para o continente ant´artico em 2014. No segundo, chamado de CREAT2, foi realizado um *upgrade* em sua geometria, o que garantiu uma maior ´area de incidˆencia, al´em de diversas melhorias a n´ıvel de *software* e hardware. O terceiro experimento, o CREAT3, ainda em fase de desenvolvimento, tem o objetivo de obter o modelo de produ¸c˜ao dos raios c´osmicos no continente ant´artico.

Devido a falta de recursos financeiros do Instituto Nacional de Ciˆencia e Tecnologia (INCT) da Criosfera, muitas miss˜oes tiveram que ser adiadas. Infelizmente, o experimento CREAT2, embora finalizado, n˜ao pˆode ser enviado para esta¸c˜ao Criosfera 1, logo, os dados e resultados descritos nesta disserta¸c˜ao referentes ao seu detector s´o puderam ser coletados no Brasil.

## Motiva¸c˜ao

A todo momento recebemos a presen¸ca de raios c´osmicos na superf´ıcie provenientes do sol e de explosoes de estrelas. O primeiro f´ısico a perceber esse intenso fluxo de radia¸c˜ao proveniente do espa¸co foi o austr´ıaco Victor Franz Hess, recebido o prˆemio Nobel de 1936, como fruto de sua descoberta. Antigamente, pensava-se que a influˆencia na leitura de um contador Geiger vinha de is´otopos radioativos oriundos da crosta terrestre. Hess, entao, realizou um experimento no qual monitorou um contador Geiger em pontos de maior altitude, percebendo que, a medida que a altitude aumentava, o contador mantinha sua taxa de contagem. Entretanto, quando Hess levou o contador Geiger em um bal˜ao a 5 mil metros da superf´ıcie, notou que o contador aumentava a contagem, ao contr´ario do que se esperava. Sendo assim, a hip´otese de influˆencia dos is´otopos do interior da crosta terrestre foi descartada e deduziu-se que essa radia¸c˜ao vinha da alta atmosfera, come¸cando assim o estudo sobre raios c´osmicos.

Os raios c´osmicos s˜ao part´ıculas elementares est´aveis, pr´otons em sua maioria, de alta energia, que colidem constantemente com mol´eculas da sua atmosfera, principal- mente nitrogˆenio e oxigˆenio. A cadeia de eventos que se inicia ap´os a intera¸c˜ao de um raio c´osmico com uma mol´ecula da alta atmosfera terrestre ´e denominada de CAE (Chu-

veiro Atmosf´erico Extenso), mostrado na Figura 1.1. Os produtos da primeira intera¸c˜ao movimentam-se aproximadamente na mesma dire¸c˜ao do prim´ario, dando origem a uma cascata de outras intera¸c˜oes e podendo gerar um nu´mero (os denominados secund´arios) superior a 106 part´ıculas. Um CAE ´e composto basicamente por 90% de el´etrons, p´ositrons

e f´otons, 9% de part´ıculas alfa e 1% de part´ıculas hadrˆonicas (pr´otons energ´eticos e p´ıons

carregados).



Figura 1.1: Chuveiro Atmosf´erico Extenso (CAE).

A primeira colis˜ao produz, em sua maioria, part´ıculas denominadas de m´esons, pions e k´aons. Os m´esons, em especial, decaem antes de interagirem e d˜ao origem aos mu´ons. A quantidade m´edia de part´ıculas produzidas nessa intera¸c˜ao depende da energia do prim´ario e do parˆametro de impacto da colis˜ao. A densidade de part´ıculas de um CAE ao n´ıvel do mar pode alcan¸car dezenas de milhares de part´ıculas e a componente muˆonica representa at´e 15% do total de part´ıculas carregadas.

Os mu´ons s˜ao part´ıculas elementares carregadas, com massa duzentas vezes maior

que a massa do el´etron, s˜ao inst´aveis e tˆem vida m´edia de aproximadamente dois microsse- gundos. Os mu´ons tamb´em decaem em outras part´ıculas, tendo como canal de decaimento a produ¸c˜ao de el´etrons (*e−*), p´ositrons (*e*+), neutrino do el´etron (*νe*), neutrino do mu´on

(*νµ*), antineutrino do el´etron (*ν*¯*e*) e antineutrino do mu´on (*ν*¯*µ*).

A maioria das part´ıculas produzidas nestes chuveiros ´e absorvida pela atmosfera alta, exceto os mu´ons, que, devido a pequena energia perdida no processo de ioniza¸c˜ao e longo tempo de vida, atravessam a atmosfera sem sofrer grandes deflex˜oes. Na Figura 1.2 ´e mostrado o gr´afico da concentra¸c˜ao destas part´ıculas nas diferentes altitudes da atmosfera. Como s˜ao pouco absorvidos pela atmosfera, os mu´ons consistem nas part´ıculas carregadas da radia¸c˜ao c´osmica mais abundantes ao n´ıvel do mar.

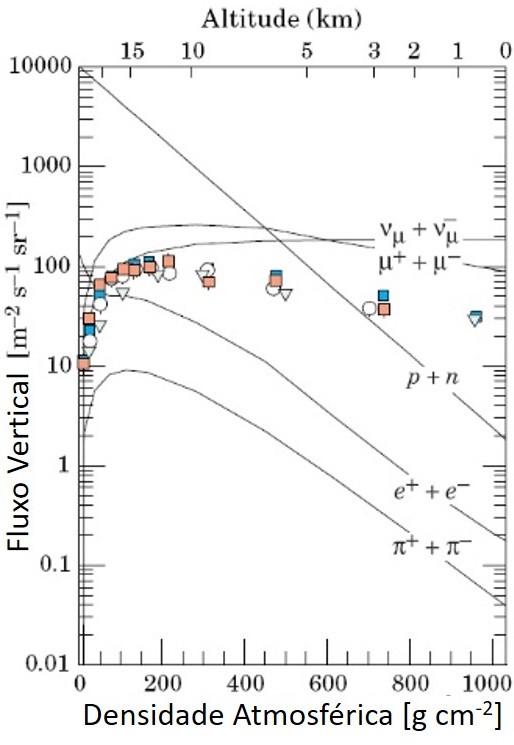


Figura 1.2: Gr´afico da concentra¸c˜ao de part´ıculas em diferentes altitudes.

O gr´afico da Figura 1.2, em escala logar´ıtmica, demonstra como se comportam diversas part´ıculas para diferentes altitudes. Na atmosfera alta, encontramos grandes con- centra¸c˜oes de pr´otons e nˆeutrons provenientes do espa¸co diminuindo a` medida que chegam a` superf´ıcie terrestre. J´a el´etrons e p´ıons que s˜ao formados a partir das colis˜oes de raios c´osmicos prim´arios com ´atomos da alta atmosfera, s˜ao gradualmente absorvidos, ou seja, interagem com a mat´eria enquanto diminui a altitude. Entretanto, os mu´ons e neutrinos chegam at´e a superf´ıcie com fluxo relativamente alto, comparados com as demais part´ıculas.

Os mu´ons chegam a` superf´ıcie da Terra com velocidades pr´oximas a da luz, com um valor m´edio *v* = 2*,* 992 × 108(*m/s*). O tempo que os mu´ons levam para percorrer os 15 km de atmosfera ´e dado por *T* = 50*,* 13 × 10*−*6(*s*) [6].

Um dos fatores que podem alterar significativamente o fluxo de RCG presentes na superf´ıcie s˜ao as atividades solares. Atividades solares s˜ao consideradas varia¸c˜oes magn´eticas que ocorrem no Sol ou a partir dele, tendo sua intensidade calculada atrav´es da contagem do nu´mero de manchas solares. As manchas solares s˜ao regi˜oes onde ocorre uma redu¸c˜ao de temperatura e press˜ao das massas gasosas na fotosfera do Sol, onde s˜ao emitidas part´ıculas ionizantes (basicamente el´etrons) tamb´em chamadas de ventos solares. Essas part´ıculas associadas aos ventos solares ficam presas na magnetosfera, criando, as- sim, uma diferen¸ca de potencial que bloqueia os raios c´osmicos, diminuindo seu fluxo. A anticorrela¸c˜ao entre os RCGs e os ciclos de manchas solares pode ser facilmente observadas atrav´es das medid˜oes realizadas no decorrer dos anos, ilustrada na Figura 1.3.



Figura 1.3: Anticorrela¸c˜ao entre os ciclos de manchas solares (em azul) e presen¸ca dos RCGs (em vermelho) na superf´ıcie terrestre[9].

As s´eries temporais mostram claramente uma queda na contagem de raios c´osmicos nos per´ıodos de m´axima atividade solar e um aumento dessa contagem nos per´ıodos de m´ınima atividade solar.

Os efeitos diretos das varia¸c˜oes da luminosidade do sol nos ciclos de atividades solares resultam em mudan¸cas muito pequenas na temperatura m´edia terrestre (cerca de 0*,* 1*◦C*). No entanto, ´e observada uma diminui¸c˜ao significativa na temperatura terrestre nos per´ıodos de m´ınima atividade solar, sendo explicado apenas por algum efeito secund´ario ocasionado por essas atividades solares. Atualmente, o principal candidato para tais re- sultados clim´aticos ´e a influˆencia dos raios c´osmicos na forma¸c˜ao de nuvens pelo efeito de ioniza¸c˜ao, similar ao processo que ocorre nas cˆamaras de nuvens.

A camara de nuvens de Wilson, inventada por Charles T.R. Wilson, em 1911, ´e um dos primeiros e mais simples detectores criados para o estudo de f´ısica de part´ıculas. O

m´etodo inventado permitia a visualiza¸c˜ao do trajeto das part´ıculas, promovendo diversas descobertas como o p´ositron, m´eson *π* e inu´meras teorias sobre a intera¸c˜ao de part´ıculas elementares.

A cˆamara utilizava um equipamento que comprimia e expandia o ar presente nela. Na r´apida expans˜ao do ar, sua temperatura caia segundo a f´ormula para a expans˜ao adiab´atica:

*TV γ−*1 = *CONSTANTE* (1.1)

#### Onde *T* ´e a temperatura do ar, *V* ´e o volume ocupado por ele, e *γ* ≡ *CP /CV* , ou seja, a razao entre os calores espec´ıficos molares a press˜ao e volume constantes, lembrando que *γ* ´e sempre maior que 1, considerando um g´as ideal.

Segundo a Equa¸c˜ao 1.1, o r´apido aumento do volume causa uma su´bita queda na temperatura, criando um est´agio de supersatura¸c˜ao do vapor d’´agua. A alta concentra¸c˜ao desse vapor, devido `a baixa temperatura, se condensa na passagem de part´ıculas carrega- das, formando got´ıculas de ´agua e consequentemente nuvens. Esse processo ´e similar ao rastro de nuvens que ocorre na passagem de um avi˜ao no c´eu.

Isso ocorre porque part´ıculas ionizantes arrancam el´etrons das mol´eculas de ar pro- duzindo ´ıons que servem como nu´cleos de condensa¸c˜ao. A alta concentra¸c˜ao de vapor d’´agua se condensa em torno desses ´ıons, produzindo tra¸cos ao longo do trajeto dessas part´ıculas. A Figura 1.4 apresenta a cˆamara feita por Wilson e uma imagem do trajeto de part´ıculas obtida atrav´es dela.

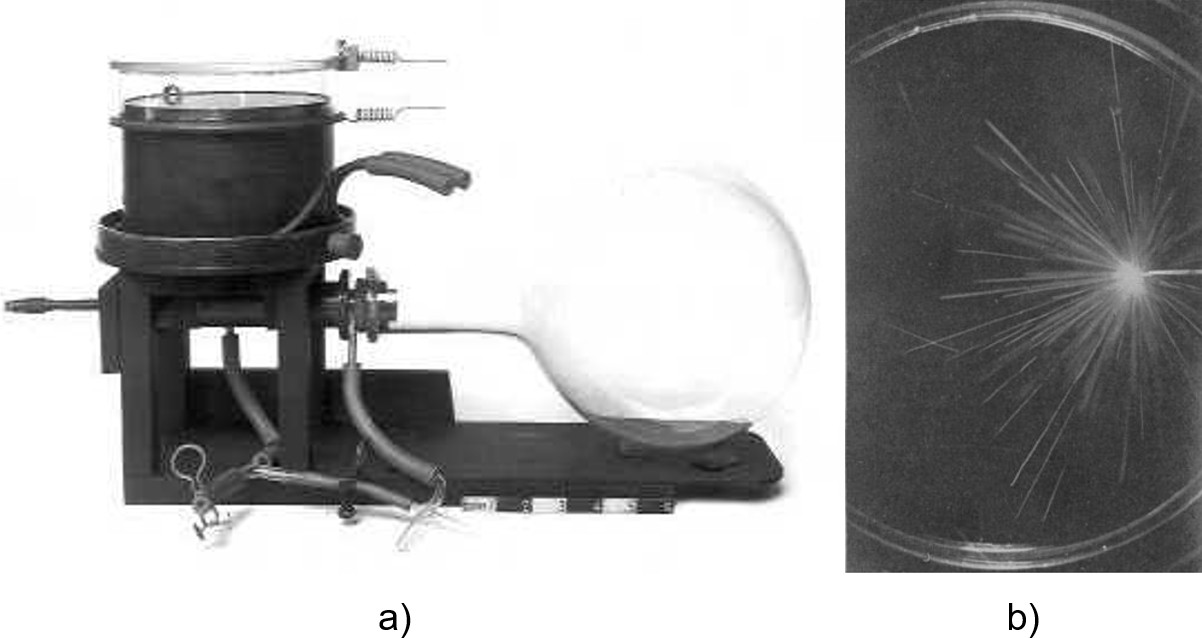


Figura 1.4: a)Primeira cˆamara de nuvens, inventada por Wilson [11] b)Imagem fotografada da trajet´oria de part´ıculas.

No processo de condensa¸c˜ao e forma¸c˜ao de nuvens, s˜ao necess´arias duas condi¸c˜oes para que ocorra. Primeiro, deve haver uma satura¸c˜ao no ar que ocorre quando ele ´e res- friado abaixo do seu ponto de orvalho, mais comum quando o vapor d’´agua ´e adicionado. Segundo, ´e necess´ario que haja uma superf´ıcie sobre a qual o vapor d’´agua possa condensar. Quando a condensa¸c˜ao ocorre no ar acima do solo, nu´cleos de condensa¸c˜ao servem como superf´ıcie sobre a qual o vapor d’´agua condensa. Estudos indicam que em condi¸c˜oes onde o ar possui pouca concentra¸c˜ao de poeira e outros aeross´ois, a deposi¸c˜ao de vapor d’´agua ´e extremamente improv´avel, exceto em condi¸c˜oes supersaturadas, como presentes nas cˆamaras de nuvens. Na atmosfera real, a concentra¸c˜ao de vapor ambiente ´e centenas de vezes menor, necessitando da presen¸ca de aeross´ois para que a forma¸c˜ao de nuvens ocorra. Os aeross´ois atmosf´ericos s˜ao part´ıculas s´olidas ou l´ıquidas presentes no ar, podendo ser naturais ou artificiais. Alguns aeross´ois s˜ao origin´arios da suspens˜ao da poeira dos deser- tos e sal dos oceanos pelos ventos, outros s˜ao compostos pelo carbono emitido por f´abricas e autom´oveis, ou pelos incˆendios florestais. A influˆencia desses aeross´ois no clima pode ocorrer de maneira direta ou indireta. A forma direta ocorre quando os aeross´ois mais es- curos, como o carbono ou poeira, absorvem a luz solar aumentando a temperatura terrestre atrav´es do seu efeito estufa, ou quando os aeross´ois de cor mais clara, como origin´arios dos oceanos ou sulfatos, refletem os raios solares, diminuindo assim a temperatura terrestre. De maneira indireta, temos a forma¸c˜ao dos aeross´ois a partir de vapores percursores, como o ´acido sulfu´rico, pelo processo de nuclea¸c˜ao.

Em 1997, os pesquisadores Heinrich Svensmark e Eigil Friis-Christensen, do insti- tuto de pesquisas espaciais da Dinamarca, foram um dos primeiros pesquisadores a propor que os RCGs e as atividades solares poderiam ser fatores de influˆencia do clima. Em teoria, os RCGs ao passarem pela atmosfera, podem ionizar alguns compostos vol´ateis. Quando o agrupamento de part´ıculas atingem certo tamanho cr´ıtico, existe um gasto de energia ao inv´es de ganho de energia associado a evapora¸c˜ao. A inclus˜ao de ´ıons nesses grupos pode reduzir o tamanho cr´ıtico, formando novas part´ıculas muito mais est´aveis. Quanto maior a incidˆencia dos RCGs, maior ser´a a concentra¸c˜ao desses ´ıons, influenciando ainda mais na forma¸c˜ao de nuvens, como ilustrado na Figura 1.5.

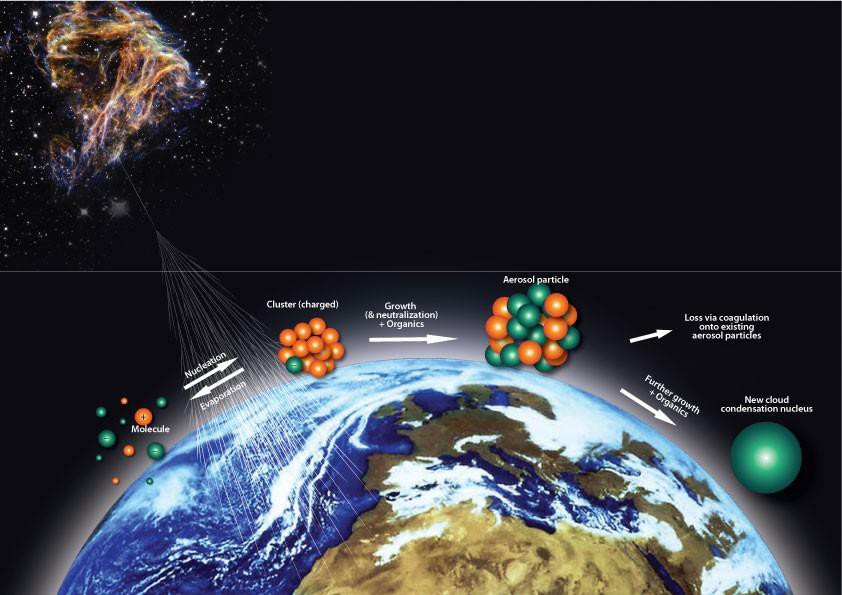
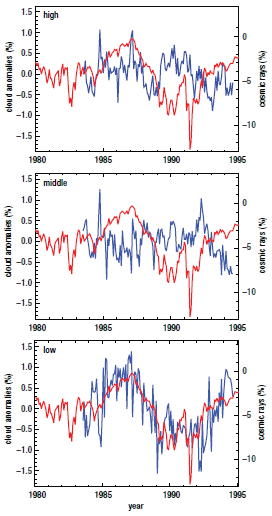


Figura 1.5: Processo de forma¸c˜ao de nuvens na incidˆencia dos RCGs.

A taxa de ´ıons gerada nessa passagem depende principalmente da profundidade atmosf´erica, pois quanto maior a concentra¸c˜ao mol´eculas na atmosfera, mais ´ıons ser˜ao gerados.

Por ser uma rea¸c˜ao probabil´ıstica, a profundidade atmosf´erica pode ser usada como uma medida da probabilidade de ocorrer uma rea¸c˜ao no momento em que um raio c´osmico particular atinja uma determinada altitude. A profundidade atmosf´erica ´e a massa de uma coluna de ar acima de uma superf´ıcie, com dimens˜oes de *massa/´area*.

Na Figura 1.6 podemos observar os dados coletados por sat´elites dessa rela¸c˜ao entre cobertura de nuvens e raios c´osmicos. Resultados esses, que foram anunciados em 1996 no encontro de ciˆencias espaciais, em Birmingham, e publicado como ”*Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage - a missing link in solar-climate relationships*”(Svensmark and Friis-Christensen 1997). At´e ent˜ao, n˜ao havia confirma¸c˜ao te´orica para tais resultados.



#### Figura 1.6: A linha azul mostra varia¸c˜oes na nebulosidade global coletada pelo *Internatio- nal Satellite Cloud Climatology Project*. A linha vermelha ´e o registro de varia¸c˜oes mensais nas contagens de raios c´osmicos na esta¸c˜ao de Huancayo, no Peru.

Devido a maior presen¸ca de aeross´ois em regi˜oes de baixa altitude, podemos ob-

servar maior correla¸c˜ao entre a cobertura de nuvens e fluxo de RCGs. Na Figura 1.7 s˜ao apresentados alguns dados mais recentes dessa rela¸c˜ao.

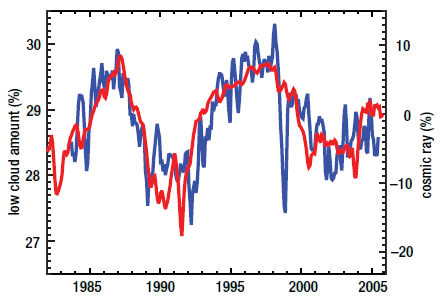


Figura 1.7: A linha azul mostra varia¸c˜oes na nebulosidade global. A linha vermelha ´e o registro de varia¸c˜oes mensais nas contagens de raios c´osmicos[15].

O Experimento *CLOUD*, localizado no CERN, atualmente ´e um dos maiores expe- rimentos que procuram entender essa influˆencia dos raios c´osmicos em aeross´ois e nuvens, e sua correla¸c˜ao com o clima. O experimento consiste em uma cˆamara em que ´e poss´ıvel ter completo controle das condi¸c˜oes de temperatura, press˜ao, incidˆencia de raios UV e combina¸c˜oes de gases atmosf´ericos para a emula¸c˜ao de uma atmosfera real. Al´em disso, o experimento tem a sua disposi¸c˜ao um feixe do Proton Synchrotron para a simula¸c˜ao de raios c´osmicos, que s˜ao 90% pr´otons de hidrogˆenio. Por n˜ao ser um processo completamente conhecido, os atuais modelos computacionais do clima n˜ao simulam t˜ao bem os efeitos dos raios c´osmicos e nuvens. O Experimento CLOUD come¸cou efetivamente a coletar dados a partir de 2010 e funciona at´e hoje.

## Continente Ant´artico

A Continente Ant´artico possui diversas peculiaridades que o difere dos demais con- tinentes. Al´em de ser um dos maiores, seu centro est´a localizado no Polo Sul, onde se convergem as linhas longitudinais geogr´aficas e onde os campos magn´eticos da terra s˜ao ortogonais a` superf´ıcie. Ele ´e considerado o continente mais frio, mais seco e com a maior

m´edia de altitude do planeta. A temperatura m´edia na costa durante o ver˜ao ´e de -10*◦*C e no interior -40*◦*C, podendo chegar a` -80*◦*C no inverno.

Para um maior controle das explora¸c˜oes no continente ant´artico, em 1 de dezembro de 1959, foi assinado o Tratado da Ant´artica, em que ´e permitida apenas a explora¸c˜ao cient´ıfica do continente, garantindo o m´ınimo de impacto ambiental nesta localidade. O Brasil aderiu ao tratado em 1975 e, no in´ıcio da d´ecada de 1980, foi inaugurada a Esta¸c˜ao Ant´artica Comandante Ferraz (EACF) [18]. Localizada na ilha do Rei George, a 130 km da Pen´ınsula Ant´artica, a Esta¸c˜ao Ant´artica Comandante Ferraz serve como refu´gio e laborat´orio para diversos pesquisadores, oferecendo suporte em apoio da Marinha do Brasil.

Em 12 de janeiro de 2012, foi inaugurado o m´odulo avan¸cado de pesquisa cient´ıfica brasileiro Criosfera 1, desde ent˜ao, localizado no interior do continente ant´artico, a 640 km do polo sul geogr´afico, latitude 84*◦*S, como visto na Figura 1.8. Iniciativa do Minist´erio da Ciˆencia, Tecnologia, Inova¸c˜oes e Comunica¸c˜oes, e do CNPq, o m´odulo ´e a primeira iniciativa de pesquisa brasileira a operar de forma cont´ınua, autˆonoma e remota no interior do continente ant´artico.



Figura 1.8: Localiza¸c˜ao do m´odulo Criosfera I.

Sua estrutura conta com um espa¸co interno de 6*,* 3 × 2*,* 5 × 2*,* 6[*m*3] e um sistema h´ıbrido e´olico/solar autossuficiente para gera¸c˜ao de energia el´etrica, que permitem mantˆe-lo em funcionamento o ano inteiro, inclusive durante o inverno polar. Com objetivo de ser uma plataforma de pesquisa multiusu´aria, possui um grande potencial para estudos voltados a`

biotecnologia, meteorologia, paleoclima, f´ısica, qu´ımica da atmosfera, e astrof´ısica de altas energias, oferecendo condi¸c˜oes infraestruturais a` pesquisa com o m´ınimo de alterac˜ao do ecossistema local.

O m´odulo possui uma esta¸c˜ao meteorol´ogica que monitora temperatura do ar, press˜ao atmosf´erica, umidade relativa, intensidade e dire¸c˜ao do vento e radia¸c˜ao solar. Um sistema ultrassˆonico, instalado no exterior do m´odulo, mede a dinˆamica de deposic˜ao de neve na regi˜ao em tempo real. Todos os dados meteorol´ogicos, das concentra¸c˜oes de *CO*2, da deposi¸c˜ao de neve, entre outros, s˜ao enviados via sat´elite em tempo real para o Bra- sil. Estes dados, reunidos e interpretados a` luz de modelos computacionais de transporte atmosf´erico, permitem aumentar nossa compreens˜ao sobre a rela¸c˜ao clim´atica Ant´artica- Am´erica do Sul, o impacto da redu¸c˜ao da camada de ozˆonio, da atividade vulcˆanica no he- misf´erio sul, da evolu¸c˜ao dos processos globais de desertifica¸c˜ao, do transporte atmosf´erico global de poluentes e de microrganismos, bem como aprofundar nosso conhecimento sobre a hist´oria clim´atica contada pelos testemunhos de gelo.

## Projeto CRE@AT

O Projeto CRE@AT (*Cosmic Rays Experiment at Antarctic*), tem como objetivo o estudo de raios c´osmicos no continente ant´artico e sua rela¸c˜ao com o clima, em especial, com a forma¸c˜ao de nuvens. A escolha do continente foi devido `as caracter´ısticas u´nicas presente nele, que o torna uma esp´ecie de laborat´orio.

A proposta inicial do experimento, foi a medi¸c˜ao do fluxo de raios c´osmicos que chega na superf´ıcie ant´artica, tendo como uma vers˜ao piloto, o experimento CREAT1, enviado em outubro de 2014.

O CREAT1 foi concebido como uma vers˜ao piloto para verificar a viabilidade de manter o experimento num ambiente hostil e trabalhando de maneira autˆonoma. Devido as dificuldades energ´eticas do local, principalmente