

## **Relatório técnico-científico Jean Pierre Raulin**

### **I – Objetivos da proposta original**

O projeto inicial se refere ao novo telescópio HATS, e a possibilidade de operar este novo instrumento em 870 GHz e 1.5 THz. Nessas frequências, e, em particular na frequência de 1.5 THz, a atenuação atmosférica é muito importante. Assim, é preciso um local de alta montanha para minimizar os efeitos da atmosfera terrestre, e o pico em 5500 masl em Famatina foi escolhido no primeiro semestre de 2016, com a necessidade de caracterizar o lugar em termos de temperatura, vento e conteúdo de vapor e água.

No aguardo da caracterização do pico de alta montanha em Famatina (5500 masl), o telescópio HATS deverá ser preparado com diferentes subsistemas pré-ensamblados para ser testado e operado no OAFa (Observatório Astronômico Felix Aguilar) a partir de 2019.

Para isso é necessário entender a relação entre a opacidade em ondas submilimétricas e o conteúdo de vapor de água.

A determinação da opacidade submilimétrica é realizada através de três métodos, cujos resultados devem ser comparados, para escolher o método dando acesso aos resultados mais uniformes possíveis.

### **II – O lugar de Famatina 5500 masl**

O sitio escolhido para hospedar o telescópio HATS é perto de Famatina, num pico de alta montanha onde a Universidade Nacional de Chilecito (UndeC, província de La Rioja) opera o Laboratório de Altura em 5000 masl. Perto do lugar, existe uma possibilidade para instalação em 5500 masl. No fim do 1º semestre de 2016 o Dr. Gonzalez e os Eng. Yornet do ICATE realizaram uma 1ª visita. Resultados desta visita foram discutidos no ICATE com o Eng. A. Marun, e um relatório final foi apresentado, detalhando e ilustrando o acesso até o local, e incluindo recomendações e conclusões sobre a factibilidade de operar instrumentação astronômica no local. O roteiro descrito no relatório inclui desde a cidade, o refugio em 3800 masl, e o acesso em 5500 masl. O relatório menciona que o refugio que deveria ser utilizado para pernoite, encontra-se totalmente destruído. No caminho até o pico em 5500 masl, é mencionado que o Laboratório de Altura da UndeC está totalmente destruído após um incêndio intencional. Esse ato originou-se em protestos contra o fato de grandes empresas de mineração voltar a atuar na região. Famatina é um local onde historicamente a mineração de ouro e prata foi muito desenvolvida. Os fatos ocorridos em Outubro de 2015 foram relatados no jornal Clarin.

As conclusões do reporte realizado pelo pessoal do ICATE ressaltarão que o site de Famatina (5500 masl) não pode ser utilizado para observações astronômicas, devido a: (i) difícil acesso ao refugio (3800 masl) e impossibilidade do seu uso por ser totalmente destruído; (ii) acesso ao futuro observatório (5500 masl) extremamente difícil mesmo com condições atmosféricas ideais, necessitando veículo especial, e pessoas treinadas; (iii) em boas condições uma ida e volta de 7 horas implica pouco tempo hábil na alta montanha; (iv) falta total de segurança impossibilitando a operação de instrumentos científicos de altos custos; (v) alta probabilidade para a presença de empresas de mineração no local num futuro próximo.

Assim, discussões já foram realizadas para encontrar um lugar para hospedar o HATS. No parque Astronômico Atacama através de uma colaboração com o pessoal do ALMA. Outra possibilidade é

alto Chorrillos onde será instalado o futuro LLAMA, projeto que conta com a participação do CRAAM. Até lá, o HATS ser testado e pré-assemblado no Oafa ou CASLEO (2500 masl) para observações em 16 THz como indicado na proposta inicial.

### III – Resultados

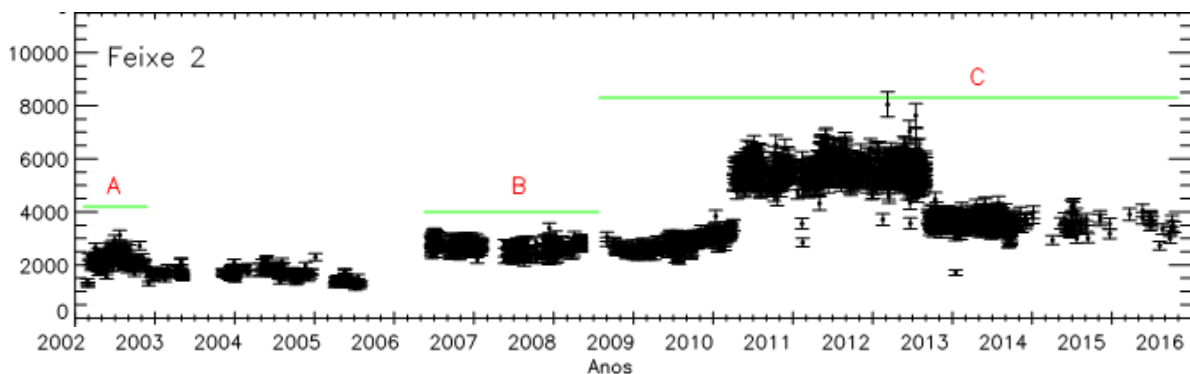
#### III – 1 Opacidade atmosférica em ondas submilimétricas: método do produto

A opacidade atmosférica em ondas submilimétricas pode ser calculada de forma simples através de uma varredura solar, utilizando a seguinte expressão:

$$\tau = \sin(El) \left[ \ln \bar{P} - \ln \left( \frac{\Delta ADC}{K} \right) \right]$$

Onde a única incógnita é o produto médio de P, da temperatura do sol quiescente T por um termo de eficiência  $\eta$ . Ambos os valores  $\eta$  e T são conhecidos somente com imprecisão, enquanto que o produto  $P = \eta T$  é constante. El é a elevação do sol durante a varredura,  $\Delta ADC$  o tamanho da varredura e K o fator de calibração.

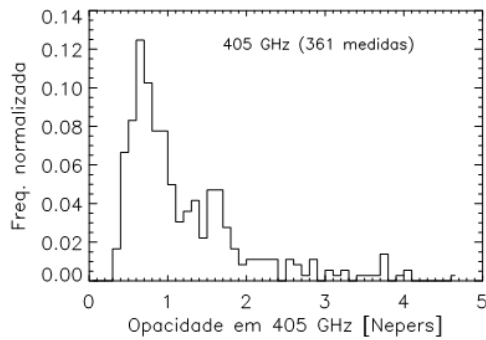
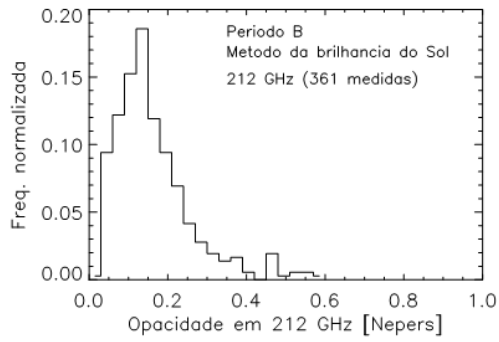
O produto P foi estimado para vários anos com o SST em 212 e 405 GHz, para finalmente obter um valor médio para cada canal do instrumento. A figura abaixo mostra a determinação de P para o canal 2 entre os anos 2002 e 2016.



A figura ilustra bem os períodos de operação do SST quando houve melhoria nas performances da antena e dos receptores, o que se traduz por um aumento do produto P.

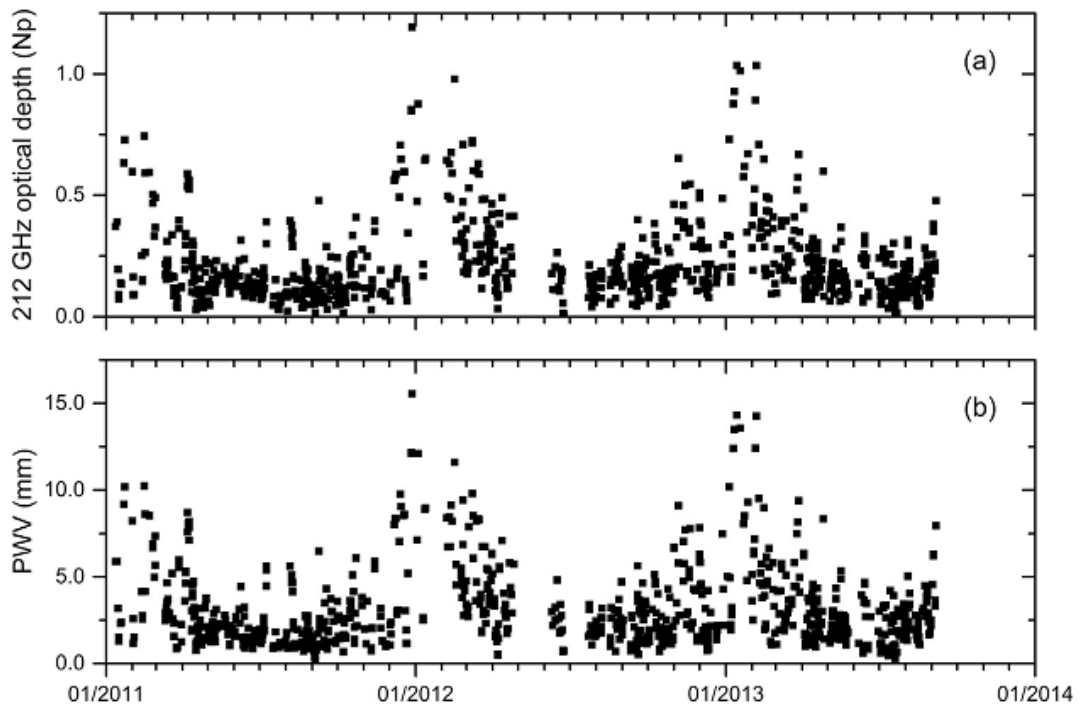
Uma vez determinado o valor médio de P para várias épocas, é possível calcular a opacidade através da equação acima, obter a variabilidade da mesma em função do tempo e dos anos, e a relação entre as opacidades em 212 e 405 GHz.

Os histogramas a seguir mostram valores típicos da opacidade atmosférica em 212 e 405 GHz. Os valores mais prováveis obtidos são muito bons: 0.14 e 0.65 Np em 212 e 405 GHz respectivamente. Esses resultados são parte da dissertação da aluna Deysi Cornejo.

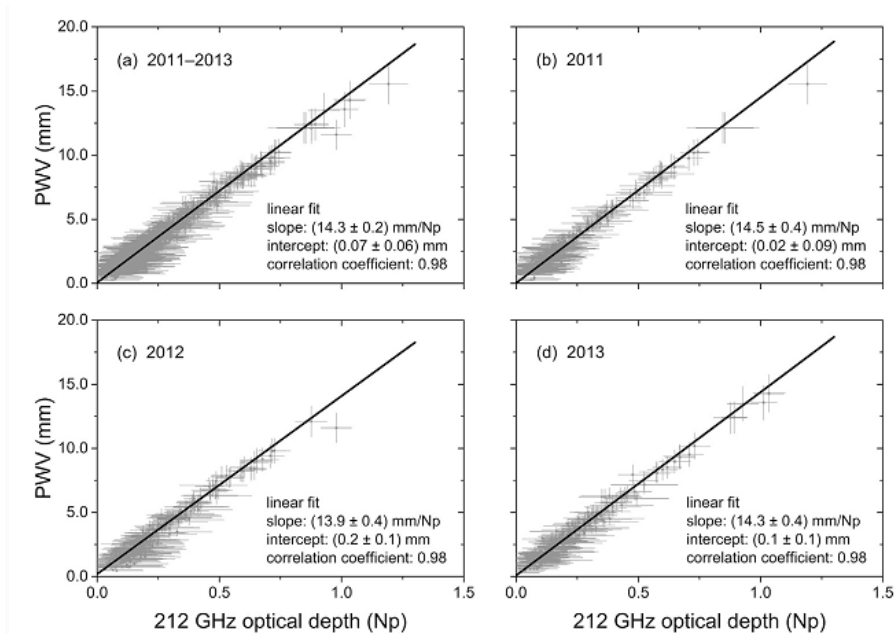


*III – 2 Relação com o conteúdo de vapor de água PWV*

Os valores de conteúdo de vapor de água obtidos pela rede AERONET foram recoletados entre 2011 e 2014. A figura abaixo mostra uma relação clara entre a opacidade em 212 GHz e os valores de PWV.



Dessa forma, é possível obter a correlação exata entre ambos os parâmetros como ilustrado na figura abaixo em 212 GHz, para cada ano 2011, 2012 e 2013, e para o período total 2011-2013.



Assim, foi possível identificar a relação entre as opacidades em 212 e 405 GHz, e PWV através das seguintes equações:

$$PWV = (14.3 \pm 0.2)\tau_{212} + (0.07 \pm 0.06)$$

$$PWV = (2.09 \pm 0.03)\tau_{405} + (-0.11 \pm 0.03)$$

### III – 3 Modelo para obter o conteúdo de vapor de água PWVm e comparação com medidas de PWV

Modelos foram utilizados para estimar PWVm a partir dos parâmetros meteorológicos locais, como temperatura T, pressão P, umidade relativa RH. Essencialmente, todos esses modelos dependem da variável H que representa a altura de escala, ou seja, a altura típica da variação de PWV na atmosfera. Geralmente, os modelos adotam valores constantes de H entorno de 2 km.

Assim, foram comparados PWVm e PWV para diferentes valores de H. Para obter PWVm = PWV, ou seja, igualar os valores teóricos com os observados encontramos um valor de H = 1.3 km.

O valor de H assim obtido é totalmente compatível com valores deduzidos em observatórios de montanha como no Chile.

### III – 4 Importância dos resultados obtidos

O desenvolvimento do método do produto para cálculo da opacidade atmosférica em 212 e 405 GHz permitiu obter uma base de dados uniforme desde o início dos anos 2000 que será utilizada para entender a relação da opacidade com o ciclo de atividade solar.

Sendo a transmissão atmosférica um parâmetro fundamental para obter uma medida confiável do fluxo em 212 e 405 GHz, alguns estudos de caso envolvendo grandes explosões solares poderão ser confirmados ou revisitados.

Correlação inédita entre TAU e PWV: esta relação obtida em 212 e 405 GHz possibilitará no futuro: (i) estimar PWV diretamente das observações submilimétricas e do valor TAU obtido; (ii) estimar PWV de volta desde os anos 2000 e identificar possíveis variações relacionadas ao ciclo de atividade solar e/ou períodos de fenômenos de El Niño e La Niña. Lembrando que PWV é o maior gás contribuindo para o efeito estufa na atmosfera terrestre, será possível monitorar o atual aquecimento global.

O cálculo de PWVm e a comparação com valores observados PWV permitiu calcular a altura de escala H da variação típica de PWV como sendo  $H = 1.3$  km, bem próximo aos valores obtidos em outros observatórios de montanha no Chile, por exemplo.

As técnicas utilizadas vão além da área científica referente ao presente projeto, e poderão ser utilizadas também em áreas como eletricidade atmosférica e raios cósmicos, pelas quais temos medidas observacionais in-loco no mesmo lugar.

Acreditamos que a relevância dos resultados obtidos justifica a aquisição num futuro próximo de uma estação da rede AERONET, o que permitiria ter as nossas próprias observações.

#### **IV – Missão de campo no CASLEO (Março de 2018)**

Em março de 2018 realizamos a missão de campo no CASLEO, com o objetivo de instalar a estação meteorológica emprestada por colaboradores argentinos do projeto. Foi instalada perto do prédio do SST o que permite também ao pessoal do grande telescópio óptico obter os dados através de uma conexão sem fio. A figura abaixo mostra a instalação final da estação.



A missão contou com a participação dos alunos José Tacza Anaya e Ray Hidalgo. Tivemos total apoio do pessoal de engenharia mecânica e eletrônica do CASLEO.

#### **V - Definição dos filtros em 16 THz para o novo telescópio HATS**

A definição dos filtros em 16 THz foi discutida. Três opções ficaram e deveremos escolher entre elas, São: (i) o CCS da UNICAMP; (ii) a Tydex de Saint Petersburg; (iii) uma opção comercial da Thornslab

Independente da aquisição dos filtros, os testes e integração dos diferentes subsistemas do novo telescópio HATS, serão realizados pela firma PROPERTECH em São José dos Campos. Já temos um orçamento da firma, com o qual as diferentes partes concordaram. A PROPERTECH foi escolhida por


ter realizado com grande sucesso tarefas muito similares para o experimento em balão estratosférico SOLAR-T

## VI - Produtos, divulgação, participação estudantes, colaborações

Artigo publicado: Precipitable water vapor and 212 GHz atmospheric optical depth correlation at El Leoncito site, Marta M. Cassiano, Deysi Cornejo Espinoza, Jean-Pierre Raulin, Carlos G. Giménez de Castro, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 168 (2018), 32-36

Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 168 (2018) 32–36

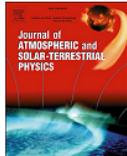
---



Contents lists available at [ScienceDirect](#)


### Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jastp](http://www.elsevier.com/locate/jastp)



---

## Precipitable water vapor and 212 GHz atmospheric optical depth correlation at El Leoncito site



Marta M. Cassiano<sup>\*</sup>, Deysi Cornejo Espinoza, Jean-Pierre Raulin, Carlos G. Giménez de Castro

Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie (CRAAM), Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brazil

---

|   |   |
|---|---|
| <p><b>ARTICLE INFO</b></p> <hr/> <p><b>Keywords:</b><br/>Precipitable water vapor<br/>Atmospheric optical depth<br/>Solar submillimeter radiation</p> | <p><b>ABSTRACT</b></p> <hr/> <p>Time series of precipitable water vapor (PWV) and 212 GHz atmospheric optical depth were obtained in CASLEO (Complejo Astronómico El Leoncito), at El Leoncito site, Argentinean Andes, for the period of 2011–2013. The 212 GHz atmospheric optical depth data were derived from measurements by the Solar Submillimeter Telescope (SST) and the PWV data were obtained by the AERONET CASLEO station. The correlation between PWV and 212 GHz optical depth was analyzed for the whole period, when both parameters were simultaneously available. A very significant correlation was observed. Similar correlation was found when data were analyzed year by year. The results indicate that the correlation of PWV versus 212 GHz optical depth could be used as an indirect estimation method for PWV, when direct measurements are not available.</p> |
|---|---|

---

Palestras convidadas, apresentação de trabalho, organização de eventos:

- Organização de uma sessão científica no evento EWASS (European Week of Astronomy and Space Sciences), Prof. Pierre Kaufmann, proposta em 09/2016, ocorrida em 07/2017, Praga, Republica Tcheca
- Palestra invitada na EWASS: Jean-Pierre Raulin, 07/2017, Praga, Republica Tcheca
- Apresentações orais na URSI (Union Radio Scientificque Internationale), 08/2017, Jean-Pierre Raulin, Montreal, Canada
- Apresentações orais na 60ª reunião da AAA (Associação Argentina de Astronomia), Jean-Pierre Raulin, Malargue, Argentina
- Palestra convidada no evento ISWI (International Space Weather Initiative), 08/2017, Jean-Pierre Raulin, Boston, EUA
- Palestra convidada no evento SPANET (São Paulo Astronomy Network) de Radioastronomia, 09/2017, Jean-Pierre Raulin, São Paulo, Brasil
- Apresentação oral no evento da AFOSR (Air Force Office for Scientific Research), 11/2017, Jean-Pierre Raulin, La Serena, Chile

O projeto teve a participação dos alunos:

- Mestrado Deysi Cornejo (defendido em 07/2017), agora aluna de doutorado
- Doutorado Ray Hidalgo

- Doutorado José Tacza Anaya

O projeto permitiu as seguintes colaborações:

- Dr, Stephen White (EUA): discussões referentes aos resultados obtidos sobre opacidade em ondas submilimétricas e comparação com resultados obtidos com o instrumento ALMA
- Dr. Otarola (EUA): nova colaboração que permitirá a utilização de perfis verticais de temperatura e pressão para o cálculo do conteúdo de vapor de água, no lugar dos parâmetros meteorológicos de superfície.
- Dr. Karl-Ludwig Klein (França): as técnicas desenvolvidas e utilizadas nesse projeto serão úteis para correção atmosférica de dados de raios cósmicos
- Dr. Paulo Simões (Escócia): as novas determinações da opacidade submilimétricas são essenciais para uma melhor estimativa do fluxo emitido durante as explosões solares, e, assim uma melhor compreensão desses fenômenos.