

## DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DIFUSÃO TURBULENTA HORIZONTAL (K), LONGITUDINAL (KX) E TRANSVERSAL (KY) PARA O CANAL DE NAVEGAÇÃO E ÁREAS RASAS ADJACENTES DO PORTO DO RIO GRANDE, RS, BRASIL.

Jose Antonio Scotti Fontoura<sup>1</sup> ; Luiz Felipe Hax Niencheski<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/Doutorado/Instituto de Pesquisas Hidráulicas(IPH) da UFRGS. ([fontoura@dmc.furg.br](mailto:fontoura@dmc.furg.br)).

<sup>2</sup>Laboratório de Hidroquímica/Departamento de Química/FURG. - ([dqmhidro@furg.br](mailto:dqmhidro@furg.br))

### RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre os coeficientes de difusão turbulenta horizontal para o canal de navegação e margens rasas adjacentes do Porto do Rio Grande, no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil, utilizando técnicas de acompanhamento de traçador fluorescente (Rodamina B) com aerofotos e amostragem da água. A interpretação radiométrica das aerofotos em concomitância com os níveis de traçador determinados nas amostras recolhidas permitiram constatar a existência de dois ambientes diferenciados para o coeficiente de difusão, um dentro do canal de navegação dominado pela presença das fortes correntes e outro nos rasos marginais adjacentes refletindo a baixa hidrodinâmica existente. O coeficiente de difusão horizontal médio (K) considerando o conjunto dos dois ambientes foi da ordem de 10065 cm<sup>2</sup>/s. No canal verificou-se uma relação crescente da difusão com o tempo e com a distância de advecção enquanto que nas áreas rasas é nítida a desaceleração do processo. Comportamento idêntico foi observado na relação entre o coeficiente de difusão longitudinal ao fluxo (Kx) e transversal ao fluxo (Ky). Embora o primeiro tenha se mantido duas a três vezes maior que o segundo durante todo o evento, ficou claro que nas partes rasas ocorreu desaceleração na taxa de crescimento relativo, o que sugere uma forte diferença entre o potencial de dispersão da região central do canal em comparação com as áreas marginais.

### ABSTRACT

This work presents a study on the horizontal turbulent eddy diffusion for both inner part and shallow areas around of Rio Grande Harbor navigation channel, Patos Lagoon estuary, RS, Brazil. It was made through the monitoring of Rodamine 'B' dye using aerial photos and water samples. From the radiometric interpretation of aerial photos in concomitance with tracer concentration level measured on environment was determined two different diffusion modes, one into the navigation channel dominated by strong currents and other on shallow areas in agree with weak local hydrodynamics. The mean horizontal turbulent eddy diffusion (K) determined for whole event was about 10065 cm<sup>2</sup>/s. Into the channel was identified a crescent diffusion rate with relation to the diffusion time and advection length, meanwhile in shallow areas was identified one decelerated process. The same was observed to the along flow eddy diffusion (Kx) and cross flow eddy diffusion (Ky). It's also verified which the longitudinal eddy diffusion (Kx) varied from two to three times higher than transversal eddy diffusion (Ky) all process long. In shallow areas was also identified a deceleration on ratio between Kx and Ky. This behavior suggests one more important dispersion process into the channel when compared with the marginal areas.

Palavras-Chave: coeficiente de difusão turbulenta, dispersão de poluentes, Lagoa dos Patos.

### 1. INTRODUÇÃO

O Porto do Rio Grande situa-se no estuário da Lagoa dos Patos, RS, no extremo sul do Brasil (Fig. 1). A Lagoa dos Patos se comunica diretamente com o oceano Atlântico através do Canal da Barra do Rio Grande, tem uma superfície global de 10360 Km<sup>2</sup>, 250 Km de comprimento, 40 Km de largura e 5 m de profundidade média com seu eixo principal seguindo a direção NE-SW, que coincide com o regime de ventos dominantes na região. O canal que a liga ao oceano tem 22 Km de comprimento, 2 Km de largura, 12 m de profundidade e largura mínima de 700 m. As marés com valores médios anuais de 0,47 m são predominantemente diurnas, como são predominantes os ventos de NE onde as velocidades mais comuns ficam entre 3 e 5 m/s (Moller Jr., 1996). A descarga anual média de água doce está por volta de 1000 m<sup>3</sup>/s (Bordas et ali., 1984) com variações sazonais médias de 700 m<sup>3</sup>/s durante o verão até 3000 m<sup>3</sup>/s na primavera. Picos de descarga de 25000 m<sup>3</sup>/s e 12000 m<sup>3</sup>/s foram observados por Rochefort (1958) e Möller Jr. et ali. (1991), respectivamente.

A população está concentrada em duas cidades (Rio Grande e Pelotas) separadas por 50 Km. Estas são responsáveis pelo lançamento de dejetos urbanos 'in natura' oriundos de esgotos cloacais não tratados. A ação antrópica pode ser subdividida em seis segmentos: complexo industrial portuário; conglomerado urbano; navegação interior e exterior; atividade primária; atividade pesqueira e turismo. De todos, apresentam-se como potencialmente poluidores os quatro primeiros, respondendo pela maior parcela o complexo industrial portuário e os dejetos urbanos não tratados, já os dois últimos são caudatários naturais das ações modificadoras exercidas pelos anteriores.

Essas atividades são responsáveis pelos elevados níveis de fosfato encontrados na enseada do Saco da Mangueira, principalmente junto às margens, provavelmente devido a emissões das indústrias de fertilizantes (Baumgarten et ali., 1995 e Baumgarten & Niencheski, 1998), assim como, fortes evidências da presença de metais pesados oriundos de aporte antrópico (Baumgarten, 1987; Baumgarten et ali., 1990 e Baumgarten & Niencheski,

op.sit.). Da mesma forma, foi constatada, a contaminação das águas de superfície por óleos e graxas, com ênfase especial para a área do Porto Novo e foz do estuário. A presença destes contaminantes é reflexo direto das atividades ligadas a navegação, como lavagem de porões, abastecimento de navios e vazamentos generalizados (Niencheski & Baumgarten, 1997; Baumgarten & Niencheski, op.sit.).

Dentro deste contexto coloca-se o presente projeto como uma opção concreta na obtenção de dados importantes capazes de participar com sucesso no gerenciamento do ambiente portuário. O presente trabalho lança mão de traçador fluorescente, aerofotografias e amostragem discreta da água para determinar os coeficientes de difusão turbulenta, parâmetro importante no dimensionamento e avaliação dos processos de dispersão de contaminantes em corpos d'água.

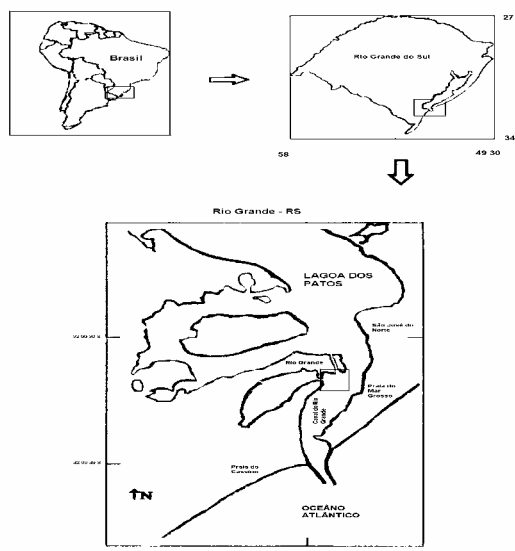


Figura 1 – Localização da área de estudo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia consistiu em gerar manchas superficiais e monitorar sua dispersão com o auxílio de fotografias aéreas e amostragem seqüencial da água, em transectos ortogonais sobre as manchas (Fig. 2). Foram realizados cinco cruzeiros (1997 e 1998) para liberação do traçador fluorescente 'Rodamina B' e coleta de dados. Para realização dos trabalhos de campo foi utilizada a lancha oceânica Laruz (FURG) apoiada por um barco de menor porte para operação em águas rasas. A plataforma de vôo foi um Cessna 182 'Skylane', cedido pelo Aeroclube Cidade do Rio Grande, enquanto que as fotos foram realizadas com o auxílio do equipamento ADAR-1000, adquirido da Positive System Company, USA (Fontoura & Hartmann, 2001).

As curvas contínuas de concentração de 'Rodamina B' foram obtidas através da correlação entre as absorbâncias determinadas nas amostras de água e as radiâncias extraídas das aerofotos, para pontos comuns (Fig. 3 e 4). Os valores dos coeficientes de difusão turbulenta

horizontal (K), longitudinal (Kx) e transversal (Ky) foram obtidos do acompanhamento da variação da área da mancha difusiva ao longo do tempo (Stevenson & Inostroza, 1984). Os dados foram analisados com o auxílio dos programas ErMapper 5.2 e Autocad R12. As correlações do coeficiente de difusão horizontal com o tempo de difusão, distância de advecção e coeficientes parciais foram obtidas por análise de regressão linear. Se o leitor desejar detalhes deve procurar Fontoura (2000).

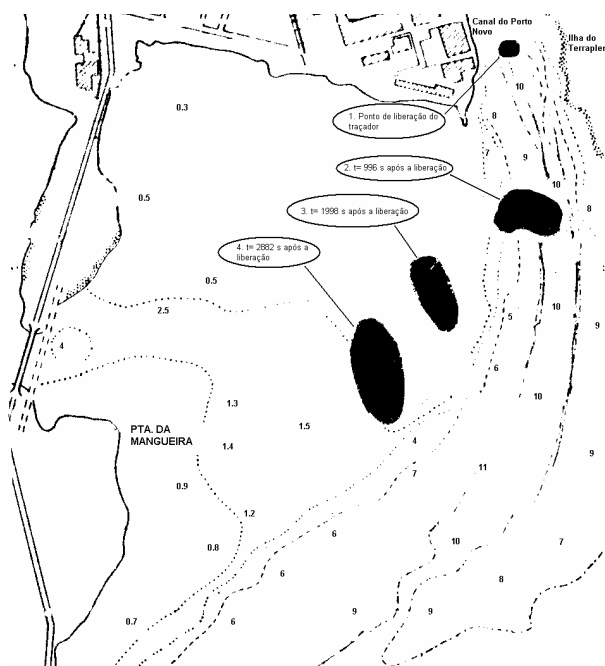


Figura 2 – Localização do experimento de 07/08/98.

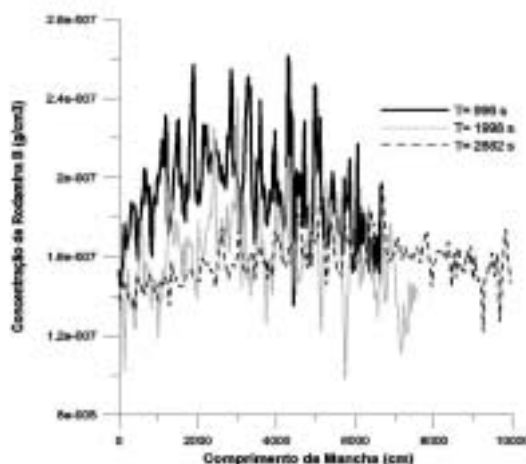


Figura 3 – Curvas de distribuição das concentrações de Rodamina B ao longo do eixo longitudinal da mancha em momentos sucessivos do evento.

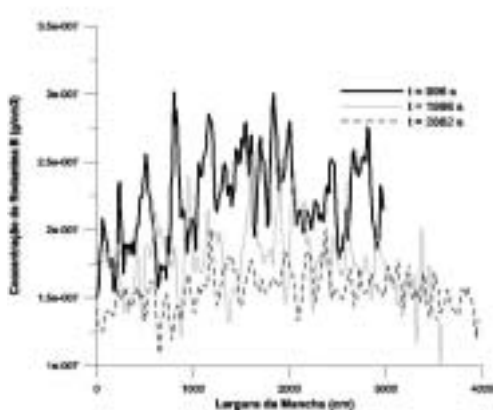


Figura 4 – Curvas de distribuição das concentrações de Rodamina B ao longo do eixo transversal da mancha em momentos sucessivos do evento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dispersão de uma grandeza em um corpo d'água, seja ela, física, química ou biológica está subordinada, entre outros fatores, ao conhecimento da taxa de crescimento da nuvem difusiva sob a ação dos forçantes locais (Lam et al., 1984). O conhecimento deste parâmetro empírico é peça chave no entendimento e descrição dos processos difusivos ambientais.

As figuras 5, 6 e 7 apresentam o conjunto de curvas que descrevem o comportamento do coeficiente de difusão turbulenta horizontal (K) em função do tempo de difusão (t), distância de advecção (L) e velocidade da corrente na superfície (V). As curvas relacionando o coeficiente horizontal (K) com o coeficiente longitudinal (Kx) e o transversal (Ky), são apresentadas nas figuras 8 e 9.

De acordo com as figuras 5 e 6 observamos que o coeficiente (K) apresentou comportamento diferenciado durante o processo, podendo ser identificadas duas etapas distintas: uma durante o período em que o traçador deslocou-se dentro da calha do canal e outra quando a mancha difusiva cruzou a borda do canal e começou a deslocar-se sobre a área rasa em direção a margem.

A primeira etapa contemplou aproximadamente 1/3 do experimento e apresentou os maiores valores do coeficiente de difusão. Nesta fase a mancha percorreu a distância de 648 m a uma velocidade média de 0,63 m/s e a área da mancha expandiu-se de 195 m<sup>2</sup> até 1958 m<sup>2</sup> em 866 s. Durante este percurso a nuvem difusiva deslocou-se exclusivamente dentro do canal de navegação. A segunda etapa correspondeu aos restantes 2/3 do experimento e indicou um comportamento decrescente para (K), chegando este no final do experimento a apresentar valores até cinco vezes menor que os encontrados na etapa inicial. A mancha percorreu uma distância de 384 m com uma velocidade média de 0,20 m/s e a área da mancha cresceu de 1958 m<sup>2</sup> até 2879 m<sup>2</sup> em 1896 s. Durante esta fase a nuvem cruzou a borda do canal em direção à zona rasa adjacente e deslocou-se sobre ela em direção a margem. O comportamento advectivo da mancha difusiva pode ser observado na figura 2.

A figura 7 mostra a relação existente entre o coeficiente de difusão (K) e a velocidade da corrente na superfície (V). A adoção da velocidade da corrente na superfície como parâmetro de comparação só foi possível graças às condições meteorológicas do período, que geraram grandes descargas continentais, capazes de impedir correntes de fundo oriundas da intrusão salina, que em conjunto com a profundidade rasa do estuário, permitiu assumir um perfil vertical homogêneo de velocidades. Os valores de (K) crescem com a velocidade. Dentro do canal de navegação o crescimento rápido do coeficiente de difusão está associado aos valores mais altos da corrente (0,63 m/s), na medida que águas mais rasas são atingidas os valores de (K) decrescem junto com a velocidade média (0,10 m/s). Isto explica as concentrações de nutrientes encontradas por Niencheski & Windom (1994) no centro do canal de navegação e consideradas normais para estuários não contaminados, em situação nitidamente contrária aos valores encontrados por Baungarten et al. (1995) e Baungarten et al. (em preparo) para águas marginais.

Observando a figura 2 verificamos que a nuvem difusiva apresenta forma assimétrica, ou seja, o eixo longitudinal à direção principal do fluxo cresce mais rapidamente que o eixo transversal ao mesmo. Isto significa que a difusão é maior nesta direção. Este comportamento assimétrico pode ser descrito pela inserção dos conceitos de coeficiente de difusão longitudinal (Kx) e coeficiente de difusão transversal (Ky). As figuras 8 e 9 mostram a relação existente entre o coeficiente de difusão (K) e os coeficientes (Kx) e (Ky). Observa-se novamente o surgimento de fases distintas com (Ky) mantendo-se aproximadamente estável durante o evento, enquanto que (Kx) flutua entre uma maior taxa de crescimento dentro do canal de navegação e uma desaceleração nas áreas marginais. Embora este último tenha se mantido duas a três vezes maior que o primeiro durante todo o evento.

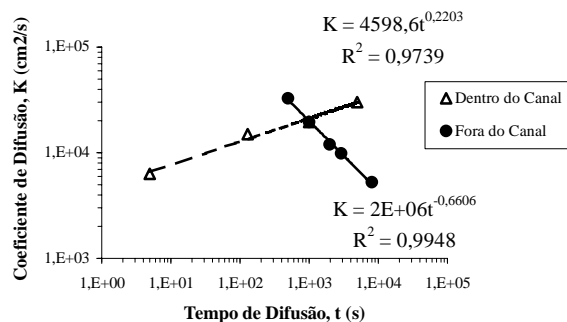


Figura 5 – Relação entre o coeficiente de difusão turbulenta e o tempo de difusão.

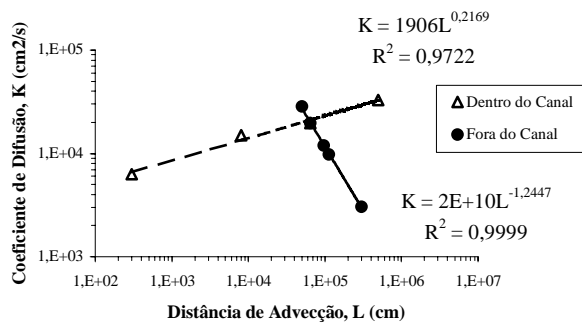


Figura 6 – Relação entre o coeficiente de difusão turbulenta e a distância de advecção.

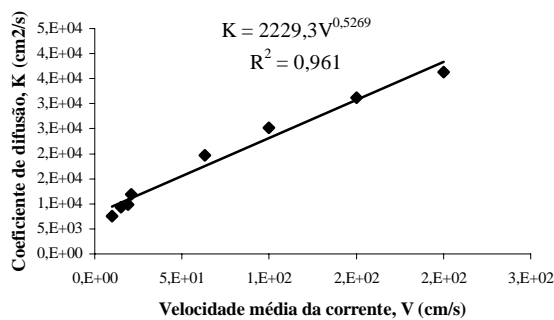


Figura 7 – Relação entre o coeficiente de difusão turbulenta e a velocidade média da corrente na superfície.

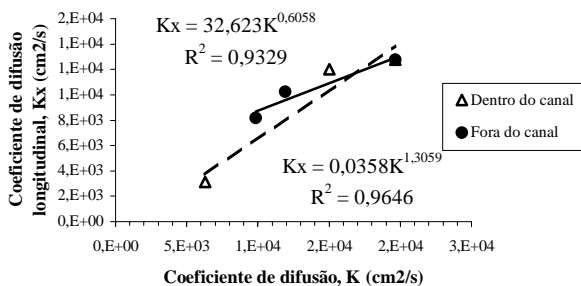


Figura 8 – Relação entre o coeficiente de difusão turbulenta horizontal e o coeficiente de difusão turbulenta longitudinal.

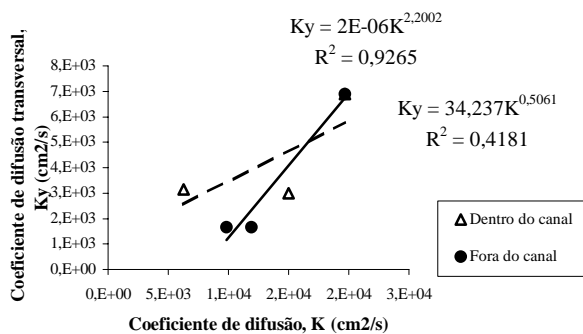


Figura 9 – Relação entre o coeficiente de difusão turbulenta horizontal e o coeficiente de difusão turbulenta transversal.

#### 4. CONCLUSÃO

A metodologia empregada mostrou-se adequada à obtenção dos coeficientes de difusão turbulenta horizontal (K), longitudinal (Kx) e transversal (Ky) para o canal de navegação e rasos adjacentes na área do porto do Rio Grande. A qualidade, confiabilidade e abrangência dos coeficientes é limitada pelo número de experimentos realizados e diversidade das situações hidrodinâmicas encontradas.

O coeficiente de difusão turbulenta horizontal (K) considerando o conjunto dos dois ambientes, apresentou um valor médio na ordem de 10065 cm<sup>2</sup>/s, entretanto valores médios parecem não ser o melhor caminho a se adotar para trabalhos na região, pois as diferenças hidrodinâmicas entre os dois ambientes são muito acentuadas e podem comprometer as interpretações baseadas em valores comuns.

Embora os valores encontrados descrevam o comportamento difusivo dos ambientes estudados sugere-se o prosseguimento das investigações através de um maior número de experimentos que contemplem diferentes pontos do estuário e condições hidrodinâmicas variadas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMGARTEN, M.G.Z. 1987. Avaliação do Balanus Improvisus como indicador dos níveis metálicos do estuário da lagoa dos Patos (RS, Brasil). Dissertação de mestrado. FURG. 178 p.
- BAUMGARTEN, M.G. & NIENCHESKI, L.F. 1998. Avaliação da qualidade hidroquímica da área portuária da cidade do Rio Grande. Série Documentos Técnicos Nº 9 / Oceanografia – FURG. Editora da FURG. 66 p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z., A.H. F. KLEIN & L.F.H. NIENCHESKI. 1990. Níveis de cobre, zinco e chumbo dissolvidos na lagoa dos Patos (RS). IN: Anais do II simpósio de ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira: estruturação, função e manejo. 6 a 11 de abril. Águas de Lindóia (SP) : Vol. II, p. 117-126.
- BAUMGARTEN, M.G.Z., L.F.H. NIENCHESKI & K.N. KUROSHIMA. 1995. Qualidade das águas estuarinas que margeiam o município do Rio Grande (RS): nutrientes e detergentes dissolvidos. Revista Atlântica. Vol. 17 : 17-34
- BAUMGARTEN, M.G.Z., L. VEECK & L.F.H. NIENCHESKI. (em preparo). Nutrientes na água intersticial de uma enseada rasa do estuário da lagoa dos Patos. Resumo. Congresso de iniciação científica – prêmio jovem cientista. FURG-UFPEL-UFSM. Pelotas.
- BORDAS, M.P., A. CASALAS, A. SILVEIRA & M. GONÇALVES. 1984. Circulação e dispersão em sistemas costeiros e oceânicos. Caso da lagoa dos Patos. Tech. Report IPH/UFRGS. Brazil.
- FONTOURA, J.A.S. 2000. Uso da 'Rodamina B' na validação de um modelo numérico de dispersão em superfície, no estuário da Lagoa dos Patos. Dissertação de mestrado. Engenharia Oceânica/FURG. Rio Grande, RS. 156 p.
- FONTOURA & HARTMANN. 2001. Capture small format aerial digital images using the airborne data acquisition system (ADAR-1000) from Positive System Company (USA). Pesquisas em Geociências, 28 (2): 373-381, 2001.

- LAM, D.C.L., C.R. MURTHY & R.B. SIMPSON. 1984. Lecture notes on coastal and estuarine studies. Effluent transport and diffusion models for the coastal zone. Springer-Verlag New York Inc. 168 p.
- MÖLLER Jr., O.O., P.S. PAIM & I. SOARES. 1991. Facteurs et mecanismes de la circulation des eaux dans l'estuarie de la lagune dos Patos. *Bulletim Institute de Geologie du Bassin d'Aquitaine*, 49 : 15-21.
- MÖLLER Jr., O.O. 1996. Hidrodynamique de la lagune dos Patos (30° S, Brésil). Mesures et modélisation. Tese Doutorado apresentada a Universidade de Bordeaux. França. 200 p.
- NIENCHESKI, L.F.H. & H. WINDOM. 1994. Nutrient flux and budget in Patos lagoon estuary. *The Science of the Total Environment*. Vol. 149 (1-2): 53-60.
- NIENCHESKI, L.F.H. & M.G.Z. BAUMGARTEN. 1997. Projeto: Relatório de impacto do meio ambiente das atividades do porto de Rio Grande. Sub-Projeto: Avaliação da qualidade hidroquímica da área portuária da cidade do Rio Grande. 45 p.
- ROCHEFORT, M. 1958. Rappports entre la pluviosité et l'écoulement dans le Brésil subtropical et le Brésil tropical Atlantique. *Travaux et mémoires de l'Institut des hautes etudes de l'Amérique latine*. 265 p.
- STEVENSON, M.R. & H.M. INOSTROZA V. 1984. Diffusion coefficients for coastal waters determined from aerial photographs. IN: *Proceedings of IV annual meeting of selper (sociedad de especialistas latino-americanos en percepción remota)*. Santiago. Chile. November 12-18.