

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS LONDRINA**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

VINICIUS DEGANUTTI DE BARROS

**Correlação de fatores hidrossedimentológicos e reflectância do Lago  
Igapó 1 em Londrina/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA**  
**2015**

**VINICIUS DEGANUTTI DE BARROS**

**Correlação de fatores hidrossedimentológicos e reflectância do Lago  
Igapó 1 em Londrina/PR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Ricardo Nagamine Costanzi

Co-orientadora: Profa. Ligia Flávia Antunes Batista

**LONDRINA**

**2015**



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO<sup>1</sup>

### Título da Monografia

Correlação de fatores hidrossedimentológicos e reflectância do Lago Igapó 1 em

Londrina/PR

por

Vinicius Deganutti de Barros

Monografia apresentada no dia 24 de junho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

---

Prof. Dr. Luiz Henrique da Silva Rotta  
(UNESP)

---

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

---

<sup>1</sup> A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família por me ajudar em todo o período de pesquisa e criação desse trabalho, pois sem eles não poderia ter realizado esse feito.

Agradeço ao meu orientador Ricardo Nagamine Costanzi e co-orientadora Ligia Flávia Antunes Batista por me ajudarem em toda essa pesquisa.

Agradeço também aos meus amigos, tanto os que estão perto quanto longe, pois sem o apoio deles em todos os meus anos de graduação e estudo no exterior não poderia ter finalizado esse projeto.

Ao final agradeço também a todos os membros da banca por se disponibilizarem a contribuir com este trabalho.

## RESUMO

BARROS, Vinicius Deganutti de. *Correlação de fatores hidrossedimentológicos e reflectância no lago Igapó 1*. Londrina, 2015. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

O lago Igapó 1 na cidade de Londrina vem recebendo nos últimos anos uma carga de poluentes e sedimentos proveniente da urbanização da Bacia Hidrográfica do ribeirão Cambé. Este fato pode provocar o assoreamento do Lago ao longo do tempo e a deterioração da qualidade de água. Desta forma, é de suma importância realizar o monitoramento da qualidade hídrica nesse local de forma contínua e consistente. Neste contexto, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ótima ferramenta para o monitoramento e estudo de diferentes corpos d'água. O programa Landsat é muito usado por pesquisadores que utilizam o geoprocessamento como ferramenta de estudo e pesquisa. Essa pesquisa tem como objetivo utilizar as imagens do satélite Landsat 8 associado as técnicas de Sensoriamento Remoto para obter a reflectância gerada pelo lago Igapó 1 em 5 pontos e correlacioná-los com dados de qualidade de água como cor, turbidez, sólidos totais e condutividade. Foram realizadas 3 coletas de água em dias diferentes e posteriormente, utilizados procedimentos de correção atmosférica com os dados de reflectância disponíveis. Foram analisadas as correlações entre as variáveis e os dados de reflectância para possibilitar o monitoramento da qualidade de água do Lago Igapó 1 por Sensoriamento Remoto.

**Palavras-chave:** Reflectância. Qualidade de Água. Correlação.

## ABSTRACT

BARROS, Vinicius Deganutti de. *Correlation of hydrosedimentological factors and the reflectance in Igapó lake 1*. Londrina, 2015. Thesis (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina.

The lake Igapó 1 in Londrina has been receiving in the past years sediment and pollutants load from the urbanization on Ribeirão Cambé watershed. This fact can cause the silting of the lake over time and the deterioration of the water quality. So, it's of great importance to monitor the hydric quality in this place in a constant and continuous way. In this context, the remote sensing presented itself as a great tool for the monitoring and study of several water bodies. This research has as its objective utilizing the images from Landsat 8 associated with remote sensing techniques to obtain the reflectance generated by Lake Igapó 1 on 5 points and correlate this data with the turbidity, color, total solids and conductivity. For this 3 samplings have been done in 3 different days and after, atmospheric correction methods were used with the available reflectance data. The correlation of these variables and the reflectance data were analyzed to enable the monitoring of the water quality lake Igapo 1 by remote sensing

**Key-words:** Reflectance. Water quality. Correlation.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
4.1 DINÂMICA HISOSSEDIMENTOLÓGICA.....	10
4.2 QUALIDADE DA ÁGUA.....	11
4.2.1 pH.....	12
4.2.2 Sólidos.....	13
4.2.3 Turbidez.....	13
4.2.4 DQO.....	13
4.2.5 Condutividade elétrica.....	14
4.2.6 Cor aparente.....	14
4.3 Sensoriamento remoto.....	15
4.3.1 Radiação e Reflectância.....	15
4.3.2 Landsat 8.....	16
4.3.3 Correção atmosférica.....	18
4.3.4 Comportamento espectral da água.....	20
4.4 Trabalhos similares.....	21
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>6.DISSCUSSÃO E RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de reservatórios para fins econômicos e para lazer sofreu um crescimento no Brasil nas últimas décadas (CABRAL 2005). Em Londrina, na Bacia do Ribeirão Cambé existe a formação de uma sequência de Lagos que foram projetados para viabilizar o sistema de drenagem urbana e que também, propiciam atividades de lazer.

O lago do Igapó 1 foi inaugurado em Dezembro de 1959 como uma solução para a drenagem do ribeirão Cambé. Apesar de ser denominado lago, o Igapó é na realidade um reservatório artificial, pois foi criado com a inserção de uma barragem no ribeirão.

Como o lago está localizado no centro urbano da cidade de Londrina, os impactos ambientais hídricos são notáveis e de grande monta, o que é um agravante da qualidade de água, principalmente pelo processo de assoreamento devido a deposição de sedimentos (LORENZO,2011).

A deposição de sedimentos pode ocorrer tanto próxima da fonte de erosão quanto distante dela, sendo ele depositado em diferentes regiões do corpo d'água. O sedimento pode variar desde a sua fração de argila até a de areia, causando danos ao local e a qualidade de água (BUFFON 2009).

O assoreamento nos lagos de Londrina encontra-se em um estado adiantado nos lagos 2, 3 e 4, principalmente pelo grande número de obras da construção civil ao redor do lago e pela falta de mata ciliar em alguns pontos do lago. Este transporte e deposição de sedimentos interferem na qualidade de água dos sistemas hídricos urbanos. Algumas medidas, como o esvaziamento do lago para a retirada manual de sedimentos do fundo, já foram realizadas para tentar conter e diminuir o nível de assoreamento, porém foram inócuas (LORENZO, 2011).

Assim, o Sensoriamento Remoto vem se apresentando como uma alternativa para análise e monitoramento da qualidade de água e do assoreamento em reservatórios (VILCHES, 2013). De acordo com Costa (2009), o Sistema de Informação Geográfico (SIG) tem como função proporcionar ferramentas para auxiliar na tomada de

decisões, sendo o seu uso adequado para o manejo de bacias hidrográficas e o monitoramento de processos ambientais.

Desta forma, este trabalho tem como intuito analisar fatores físicos relacionados a qualidade de água do Lago Igapó 1 em conjunto com procedimentos e tecnologias de Sistemas de Informação Geográficos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Utilizar modelos de regressão para analisar a existência de uma relação entre a turbidez, cor aparente, sólidos totais e condutividade elétrica do Lago Igapó 1 com a reflectância obtida por sensoriamento remoto.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Utilizar o SIG para corrigir e avaliar a reflectância medida.
- Utilizar a regressão linear, exponencial e logarítmica para analisar a existência de uma relação entre a turbidez, cor aparente, sólidos totais e condutividade elétrica com a reflectância.
- Verificar se o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta viável para a análise de características qualitativas de água em reservatórios urbanos.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 – Dinâmica hidrossedimentológica

Reservatórios são construídos para diversas finalidades como, por exemplo, produção de energia elétrica, lazer, irrigação e abastecimento de água. Esse tipo de empreendimento modifica as características naturais do ambiente, principalmente se esse ambiente estiver em meio urbano. Essa modificação causa alguns impactos, sendo o assoreamento e a modificação da qualidade de água dois dos mais importantes (BUFON, 2006).

A sedimentação é um processo resultante da remoção de partículas desagregadas de uma bacia, decorrendo a partir da erosão e transporte dessas partículas (CABRAL, 2005). Essa sedimentação em reservatórios implica com o tempo na perda de volume deste para armazenar água.

Segundo Cabral (2009), essa retenção de material particulado em reservatórios é inevitável, mas esse processo de sedimentação pode ser administrado e reduzido a níveis consideráveis. Algumas medidas apresentadas para esse controle e redução são: controle da erosão da bacia e retenção de sedimentos; redução de sedimentos por meios mecânicos; liberação do escoamento carregado de sedimentos através do reservatório.

Existem alguns fatores que influenciam a deposição de sedimentos em um reservatório, segundo Cabral (2005) os principais fatores são: A quantidade de sedimentos que adentra o reservatório; a capacidade de retenção do reservatório; a quantidade de sedimentos acumulado no mesmo; o modo de operação do reservatório; características minerais e químicas das partículas. E os fatores que contribuem para o seu transporte podem ser: quantidade e intensidade das chuvas; tipo de solo; cobertura e uso do solo; topografia; escoamentos superficiais.

O transporte de sedimentos da montante a jusante de um canal pode variar devido a afluentes que desaguam neste, alterando a característica do sedimento, assim

para um melhor estudo é necessário uma visão geral de toda a bacia (HAYAKAWA, 2007). Uma característica da água que pode indicar o transporte dos sedimentos pelo reservatório é a variação da turbidez que está relacionada com as partículas suspensas.

A relação entre turbidez e concentração de sedimentos no meio hídrico pode variar de acordo com o tipo de Bacia Hidrográfica, rural ou urbana, e com a época do ano. Outro aspecto que influi nesta relação é o tipo de sistema hídrico existente, ou seja, se é predominantemente lótico ou lântico.

A criação de uma barragem para a construção de um reservatório desacelera a velocidade corrente, fazendo com que partículas como pedregulhos e areias grossas se depositem mais perto da entrada do reservatório. As partículas mais finas acabam se depositando em trechos mais baixos ou permanecem em suspensão até a descarga do reservatório (CABRAL, 2005).

Segundo Lorenzo (2011), os efeitos negativos no qual a sedimentação pode trazer para um reservatório são: Redução do volume d' água acumulado até inviabilizar o empreendimento; Efeitos negativos sobre estruturas; Formação de bancos de areia; Diminuição do volume útil do reservatório. Além destes efeitos causados pela sedimentação, há outros impactos secundários que podem se estender para depois dos limites do reservatório, como: diminuição da qualidade da água, eutrofização, desenvolvimento de macrófitas nas bordas.

#### 4.2 – Qualidade da água

A qualidade de água possui alguns parâmetros para serem avaliados, esses parâmetros determinam componentes orgânicos e inorgânicos presentes em águas naturais e residuárias e como eles influenciam a sua qualidade.

#### 4.2.1 pH

O pH é uma grandeza que varia de 0 a 14, e indica a acidez, neutralidade e alcalinidade de uma solução. Em meio aquáticos o pH tem um efeito direto nas espécies presentes e também sobre elementos perigosos, tais como metais pesados. Águas naturais possuem geralmente o pH na faixa de 4 a 9, sendo necessário o seu controle em diversos empreendimentos, como no tratamento de efluentes (PIVELI; KATO, 2005).

O pH tem efeito sobre o ecossistema aquático natural, podendo determinar a predominância ou a extinção de determinadas espécies aquáticas. Em sistemas aquáticos eutrofizados, o pH tende a ficar ácido devido a degradação da matéria orgânica.

Segundo o artigo 14 de águas doces do CONAMA 357/2005 para águas de classe 1 a 4 o pH deverá estar na faixa de 6,0 a 9,0.

#### 4.2.2 Sólidos

Os sólidos podem ser classificados como sólidos suspensos e dissolvidos. A diferença entre eles é o tamanho da partícula sólida, ou seja, partículas maiores que 0,45  $\mu\text{m}$  são considerados suspensos e menores são considerados dissolvidos.

Os sólidos dissolvidos constituem todos constituintes químicos dissolvidos na água, tais como os sais. A presença destes constituintes é determinada na forma gravimétrica e denominada na forma de concentração (massa/volume de água). Esses sólidos podem conter íons orgânicos e inorgânicos que podem afetar a qualidade do meio aquático (PARRON et al, 2011).

O limite máximo de sólidos dissolvidos para corpos d'água doce até a classe 3 é de 500  $\text{mg.L}^{-1}$  (BRASIL, 2005). Altos valores de sólidos dissolvidos podem estar associados a poluição e ao aumento de características corrosivas da água natural.

#### 4.2.3 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água está associado ao grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água. Esta redução da intensidade ocorre por absorção e espalhamento da luz. As partículas que provocam turbidez na água são maiores que o comprimento de onda da luz branca. Segundo Parron *et al* (2001), a turbidez é causada por materiais em suspensão como argila, silte, matéria orgânica e inorgânica e organismos microscópios, sendo uma expressão óptica desses materiais com a radiação atmosférica.

A turbidez pode estar associada a graus de erosão nos leitos dos rios em períodos chuvosos em sistemas rurais e urbanos que promovam o uso do solo de modo inadequado sem a existência de um planejamento. A turbidez como forma de avaliação da concentração de partículas em suspensão deve ser utilizada em sistemas hídricos que possuam predominância de partículas do tamanho de argilas e siltes.

De acordo com Piveli e Kato (2005), compostos orgânicos podem provocar turbidez e afetar de uma forma grave a qualidade da água. Alguns exemplos são: pesticidas, solventes, derivados do petróleo, resíduos derivados do esgoto e sedimentos orgânicos em suspensão.

A turbidez elevada dificulta a penetração de raios solares em sistemas de lagos e podem indicar um elevado grau de poluição em sistemas lênticos. A turbidez influencia na qualidade estética e na produtividade de um sistema aquático.

Segundo o CONAMA 357/2005, as águas doces de classe 1 deverão apresentar turbidez até 40 UNT; para classe 2 e 3 até 100 UNT.

#### 4.2.4 DQO e DBO

A demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda biológica de oxigênio (DBO) são usados para identificar a presença de matéria orgânica na água e ambos

indicando o consumo ou a demanda de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica na água.

O aumento da DQO ou da DBO pode indicar o despejo irregular de esgotos sanitários ou industriais em corpos d' água. Atualmente, tem-se utilizado a DQO para análises sistemáticas de sistemas hídricos devido a sua maior precisão e rapidez analítica.

Na classificação de qualidade de água do CONAMA 357/2005 inexistem valores associados a concentração de DQO.

#### 4.2.5 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica mede quanto uma solução aquosa pode conduzir uma corrente elétrica, variando conforme a concentração de substâncias ionizadas dissolvidas na água e a temperatura. Assim ela é uma ótima ferramenta para a detecção de substâncias ionizadas em amostra de água (PINTO, 2007).

A condutividade elétrica possui relação direta com a quantidade de sais dissolvidos presentes na água. Ela pode representar uma medida indireta da poluição. Em geral, valores maiores que  $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  podem indicar contaminação ou poluição da água natural.

Na classificação de qualidade de água do CONAMA 357/2005 inexistem valores associados a condutividade elétrica.

#### 4.2.6 Cor Aparente

A cor aparente em um corpo d' água está associado com a absorção da radiação eletromagnética devido a presença de sólidos, principalmente dissolvidos, matéria orgânica e inorgânica (CETESB, 2015).

Alguns poluentes relacionados com a cor são: colóides orgânicos, ácidos húmico e fúlvico, compostos orgânicos, taninos, anilinas, corantes, lignina e celulose. Alguns compostos orgânicos, como óxidos de ferro e mangânes também podem causar cor aparente na água.

O CONAMA 357/2005 restringe valores de cor para os corpos d'água doce com o parâmetro cor verdadeira. A cor verdadeira é diferente da cor aparente, pois a amostra analisada é isenta de sólidos suspensos.

#### 4.3 – Sensoriamento remoto

Segundo Pereira (2007), o Sensoriamento Remoto consiste na aplicação de sensores, satélites, fotografias aéreas ou outros sensores, para obter a informação de objetos ou fenômenos na Terra. Essa informação é obtida através da interação da energia eletromagnética emitidas por fontes, como o sol ou radares, e a superfície terrestre. Nessa interação os sensores detectam a radiação emitida ou refletida pelos objetos, transformando essa informação em imagens, sendo estas constituídas por pixels (unidade básica da imagem), e a cada um deles é atribuído um nível de cinza, ou número digital, e que neles podem ser atribuídos valores de radiância e reflectância.

##### 4.3.1 – Radiação e reflectância

O sensoriamento remoto fundamenta-se na interação entre a radiação eletromagnética e objetos na superfície terrestre. A principal fonte de energia eletromagnética captada pelos satélites é o Sol, no qual os sensores assim captam a energia refletida pelos objetos na superfície Terrestre (HAYAKAWA, 2007).

A radiação eletromagnética é captada pelos sensores em diferentes comprimentos de onda (TRENTIN, 2009). As faixas mais utilizadas para o estudo de recursos naturais são os presentes entre a região do visível (0,38 – 0,72  $\mu\text{m}$ ) e a região do infravermelho próximo e médio (0,72 – 3,0  $\mu\text{m}$ ).

A radiação eletromagnética é uma importante fonte para a diferenciação do comportamento espectral das imagens obtidas pelos sensores, as principais medidas relacionadas a ela são: irradiância, radiância, absortância, reflectância e transmitância.

A radiância é determinada pelo fluxo radiante por ângulo sólido que deixa uma fonte em uma determinada área, correspondente a informação registrada pelo sensor. A reflectância é definida pela quantidade de energia refletida em razão da energia que incide na superfície (DIAS; MORAES, 2007).

A informação detectada pelos satélites, após interagir com os objetos na superfície, produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou do retroespalhamento das trocas de energia. Assim, pode extrair informações necessárias, tais como valores de reflectância de diferentes superfícies (VILCHES, 2013). Ou seja, diferentes objetos irão apresentar diferentes dados de reflectância.

Segundo Vilches (2013), cada pixel presente na imagem gerada está associado a um nível de cinza ou em outras palavras ao nível de radiância em determinada área da imagem. Esse nível de cinza pode ser chamado também de número digital, que varia de 0 (preto) a 255 (branco), caso a resolução radiométrica da imagem for de 8 bits. Assim esse número digital representa a intensidade eletromagnética medida pelo sensor na área na qual aquele pixel equivale na imagem.

Antes de realizar o processamento das imagens disponíveis, existe a necessidade, de forma geral, da realização de um pré-tratamento da imagem, que pode envolver a correção geométrica, atmosférica e radiométrica das imagens, dependendo do estudo (TRENTIN, 2009).

#### 4.3.2 – Landsat 8

Segundo Vilches (2013), o programa Landsat foi essencial para o Sensoriamento Remoto no século XX, pois com ele foi possível incorporar em seus satélites diferentes características requeridas pelos usuários, como a geração de diferentes bandas de visualização.

O Landsat 8 foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013, apresentando imagens de alta qualidade com 16 bits e coletando dados nas bandas visíveis, infravermelho próximo, regiões de onda curta no infravermelho e bandas pancromáticas. Duas novas bandas espectrais foram adicionadas, a banda 9 para a detecção de nuvens cirrus e a banda 1 para estudos de águas costeais e aerossóis (USGS, 2015).

As imagens disponíveis para o público possuem algumas características, tais como o tamanho do pixel correspondente a 30 metros na banda multiespectral, 15 metros na banda pancromática e 100 metros nas bandas termais. A projeção é a UTM e o datum utilizado é o WGS 84, com uma acurácia de 12 metros em cada imagem.

Na figura 1 pode ser visto as características das bandas do Landsat 8.

Banda	Sensor	Faixa espectral ( $\mu\text{m}$ )	Significado	Resolução Espacial (m x m)
Banda 1	-	0,43-0,45	Aerossol, costeira*	30
Banda 2	-	0,45- 0,51	Azul	30
Banda 3	-	0,53-0,59	Verde	30
Banda 4	-	0,64-0,67	Vermelho	30
Banda 5	OLI	0,85-0,88	IV Próximo	30
Banda 6	-	1,57-1,65	SWIR 1	30
Banda 7	-	2,11-2,29	SWIR 2	30
Banda 8	-	0,50-0,68	Pancromático	15
Banda 9	-	1,36-1,38	Cirrus**	30
Banda 10	TIRS	10,60-11,19	-	100
Banda 11	-	11,50-12,51	-	100

Figura 1 – Bandas Landsat 8  
Fonte: Hayakawa (2007)

### 4.3.3 – Correção atmosférica

A correção atmosférica é importante quando se quer considerar algumas situações, como a análise multitemporal ou quando é necessário recuperar o valor da grandeza radiométrica medida (reflectância, emitância ou retroespalhamento) do objeto em estudo para a utilização desses dados em modelos empíricos ou teóricos (DIAS; MORAES, 2007).

Os dados que chegam aos sensores orbitais sofrem uma interação com os componentes presentes na atmosfera, como gases e particulados. Essa interação resulta na absorção e espalhamento de parte da energia, pela atmosfera, que chega aos sensores, assim muitas vezes mascarando alguns valores destes da superfície (TRENTIN, 2009).

Os métodos de correção levam em consideração alguns fatores, tais como: espalhamento de Rayleigh, absorção por gases na atmosfera, absorção e espalhamento por aerossóis. Alguns desses fatores são difíceis de se definir, mas com a ajuda de alguns algoritmos e métodos mais simplificados é possível realizar uma correção atmosférica na imagem (SONG, 2001).

Na figura 2 a trajetória da radiação solar e suas interações algumas de suas interações com a atmosfera e a água são representadas.

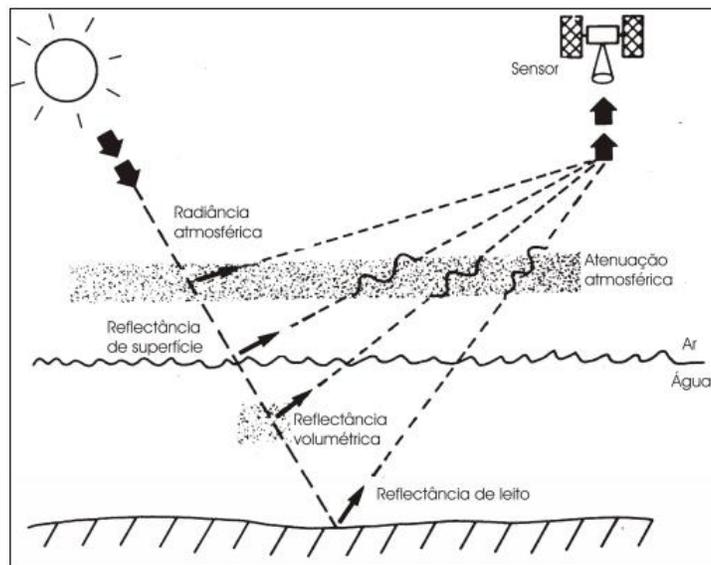


Figura 2 – Trajetória da radiação solar e suas interações com a água e a atmosfera  
Fonte: Hayakawa (2007)

Segundo Song (2001), Dark Object Substraction (DOS) é um dos métodos mais simples e mais usados para a correção atmosférica. Esse método assume a existência de objetos escuros através da imagem Landsat, sendo que o menor valor desses assume o valor do efeito atmosférico. Após isto, esse valor é diminuído de todos os pixels da imagem.

O método DOS possui quatro diferentes tipos: DOS 1, DOS 2, DOS 3 e DOS 4, sendo o DOS 4 o que leva em consideração mais variáveis (PEREIRA, 2007). O método do DOS 4 adiciona os efeitos de aerossóis atmosféricos para os valores de transmitância atmosférica e da transmitância que vem a partir da fonte de luz, além de adotar a radiância do céu como isotrópica (SONG, 2011).

A formula para obter a reflectância usada pelo software grass é:

$$Re = \frac{(L_1 * DN + L_2)}{I} \quad (1)$$

Onde: Re é a reflectância na superfície,  $L_1$  o fator multiplicante específico para cada banda proveniente dos metadados,  $L_2$  é o fator aditivo específico para cada banda proveniente dos metadados, DN é o número digital calibrado e I a irradiância exoatmosférica solar média.

#### 4.3.4 – Comportamento Espectral da Água

Segundo Statella (2010),

A água possui algumas características específicas dela, sendo diferentes em relação a vários alvos na superfície, podendo assim apontar algumas: como a região de maior penetração de luz na água (400 a 500 nm) e de maior interação entre a REM e os componentes da coluna d'água é profundamente afetada pela atmosfera, cerca de 90% da energia detectada sobre um corpo d'água por um sensor orbital pode ser atribuída à interferência atmosférica, a transmitância da água é muito alta e variável, os componentes opticamente ativos da água apresentam espectros de absorção semelhantes, o que muitas vezes torna difícil sua discriminação quando ocorrem simultaneamente no ambiente, a reflectância da água é muito pequena, em torno de 4%, o que faz com que os sensores disponíveis sejam muitas vezes insensíveis às mudanças de cores, a reflectância da superfície da água é mais elevada que a do volume e afetada por fatores como vento e a geometria de aquisição.

O espalhamento da água pura é determinado pelo espalhamento das moléculas nos comprimentos de onda mais curtos (400-600 nm), aumentando na região do infravermelho próximo. Esse espalhamento é determinado pela matéria orgânica e inorgânica em suspensão e a absorção pela matéria orgânica e inorgânica dissolvida (TRENTIN,2009).Na figura 3 pode-se verificar o comportamento espectral da água pura para diferentes comprimentos de onda e como a radiação interage com ela.

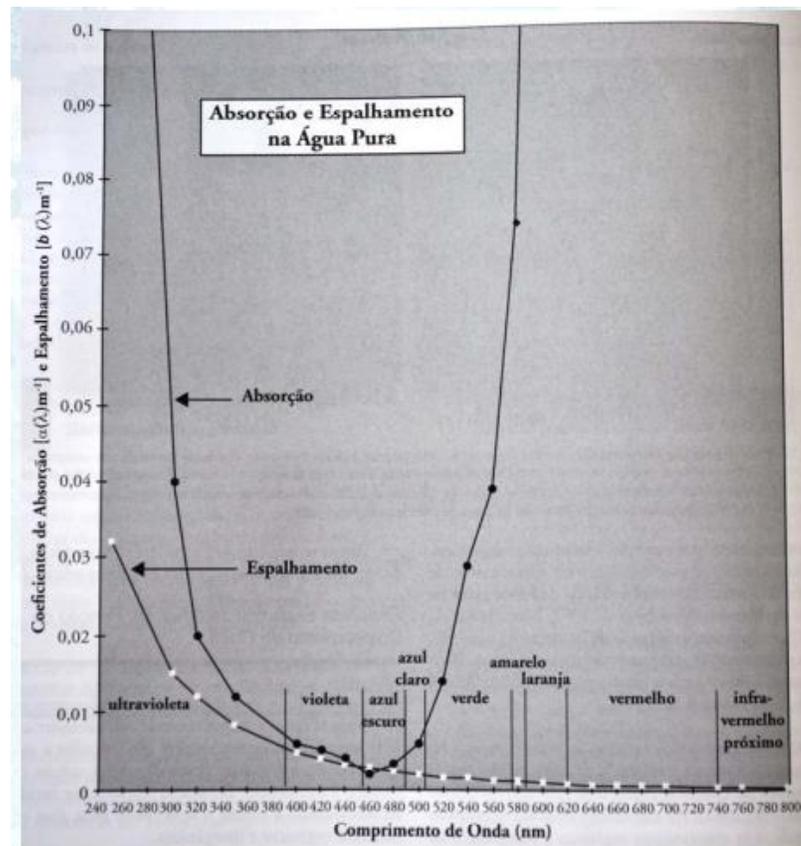


Figura 3 – Coeficientes de absorção e espalhamento na água pura  
 Fonte: JENSEN (2009)

A Reflectância da água é atribuída principalmente pelos constituintes opticamente ativos presentes nela, sendo alguns deles: sólidos dissolvidos e em suspensão, matéria orgânica, pigmentos fotossintetizantes (PEREIRA, 2007).

De acordo com Statella (2010), a região de 740 nm seria ideal para estimar a quantidade de sólidos suspensos na água, pois nessa região a reflectância é independente da matéria orgânica presente, tendo essa uma menor resposta nessa região.

#### 4.4 – Trabalhos Similares

Na pesquisa de Rotta (2009), os sensores Landsat 5 e CBERS 2B se mostraram adequados para a verificação de sólidos em suspensão no Rio Paraná. No

trabalho foi apresentado um modelo adequado sobre a concentração de sólidos no rio. Outro ponto que o autor enfatizou é a importância da correção atmosférica para poder realizar uma análise temporal com os dados obtidos.

A pesquisa de Vilches (2013) mostrou a correlação entre os sólidos suspensos presentes no rio Doce e a reflectância obtida a partir do Sensoriamento Remoto. Outro ponto que foi observado com relação as bandas B2 e B3 do Landsat 5, é que apresentaram um maior valor de reflectância por estarem na faixa do visível. Além disso, foi constatado que para um menor aporte de sedimentos, a banda B1 é mais propícia para a correlação entre eles. Quando existe uma maior concentração de sedimentos, a melhor banda é a B4.

Pinheiro e Barros (2003) mostraram em sua pesquisa a correlação entre a turbidez e a reflectância utilizando imagens do Landsat 5. Nessa pesquisa, percebe-se que nas bandas 1, 2, 3 e 4 existe um maior grau de detecção para a mudança dos valores de turbidez, sendo que na banda 7 houve uma melhor correlação para uma maior concentração de sólidos e para na banda 2 quando houve uma menor concentração de sólidos.

Na pesquisa de Hayakawa (2007) é visto que pela construção da barragem em Porto primavera houve uma alteração na carga suspensa de sólidos a jusante do Rio Paraná, no qual alterou a cor e diversas outras características desse canal fluvial. Por meio de imagens espectrais do satélite CBERS/2 foi possível verificar o transporte de carga sedimentar do Rio Paraná no segmento a jusante da barragem mostrando-se no final que a reflectância estava correlacionada a carga de sedimentos medida.

Trentin (2009), apresenta um estudo sobre o comportamento espectral da água no reservatório Passo Real – Rio Grande do Sul avaliando os fatores condicionantes às diferenças espectrais na água. A coleta de dados espectrais foi realizada com espectrorradiômetros em campo e dados orbitais a partir de imagens do satélite Landsat, além de dados limnológicos do local. No final foi visto que a transparência da água no reservatório é inversalmente proporcional a presença de sólidos suspensos, e que esses refletiram nos valores de reflectância obtidos. No final as melhores

correlações para com os dados limnológicos foram melhores com os dados espectrais (imagens de satélite) do que com os obtidos com o espectroradiômetro.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho se utiliza dos dados das regressões lineares, exponenciais e logarítmicas para observar se há uma correlação entre os dados de reflectância obtidos a partir do satélite Landsat 8 com dados de qualidade de água do Lago Igapó 1. Desta forma, foi necessária a coleta de amostras em congruência aos dias de passagem do satélite sobre o lago.

Foram escolhidos cinco pontos de coleta no Lago Igapó 1, tendo como critério os corpos d'água afluentes ao lago, a saída de água pela barragem e pelo menos um ponto central.

A escolha do local dos pontos de coleta tem grande importância, pois pelos dados coletados poderá ser observada a variação da qualidade de água no Lago.

As coletas foram realizadas em três dias diferentes para possibilitar a visualização de diferentes situações nas quais o lago poderia estar sendo exposto, devido principalmente à ocorrência de chuvas nos dias anteriores as coletas.

Outra razão para a escolha desses pontos foi a possibilidade de definição da amostragem por zonas ou áreas definidas no Lago que permitam a análise de imagem afastada da borda. Pois na análise dos dados no software de sensoriamento remoto, se o pixel analisado estiver muito próximo da borda, o valor de reflectância obtido poderá apresentar um erro, no qual é a inserção dos dados do solo presente na borda na análise do valor de reflectância, por isso as amostras foram realizadas no meio do lago.

As coletas foram realizadas no dia de passagem do satélite na região. Após a coleta, as amostras foram transportadas imediatamente para a UTFPR-LD para conservação, análise e medição.

Foram analisadas nas amostras coletadas de água: a turbidez, cor, pH, condutividade elétrica e sólidos totais. Sendo todas essas variáveis, menos o pH, possíveis de relacionar-se com a reflectância obtida pela imagem de satélite.

As análises qualitativas de água foram realizadas a partir da APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2001). O quadro 1 apresenta a descrição de algumas metodologias.

Quadro 1 – Descrição de métodos analíticos.

<i>Variável</i>	<i>Método</i>	<i>Descrição resumida</i>	<i>Interferentes</i>	<i>Conservação da amostra</i>
<b>pH</b>	4500 H <sup>+</sup> B Método eletrométrico - APHA (2001)	Determinação da atividade de íons hidrogênio por potenciômetro utilizando um eletrodo padrão. Utilização de um pHmetro, marca com desvio padrão de $\pm 0,1$ .	O eletrodo de vidro é relativamente livre de interferentes, apenas observar altas concentrações de sódio para pH>10. Corrigir o PH em relação à temperatura	Refrigerado até 4°C Leitura em até 0,25h (recomendado)
<b>Turbidez</b>	2130 B método nefelométrico - APHA (2001)	Definida como a quantidade de luz espalhada pela amostra sob determinadas condições referentes a uma suspensão padrão.	Passível de formação de condensados com amostras em temperaturas baixas. Evitar demorar para realizar a leitura devido a possibilidade de ocorrer sedimentação ou formar flocos na amostra.	Refrigerado até 4oC Leitura em até 24h (recomendado)
<b>Sólidos Totais</b>	2540 B Sólidos Totais- APHA (2001)	Evaporação da amostra em cadinho de porcelana na temperatura de 103 a 105oC. Método gravimétrico.	Águas com altas concentrações de cálcio, magnésio, cloretos ou sulfato que podem ser higroscópicos.	conservar até 7 dias em refrigerador até 4oC (recomendado)

As imagens provenientes do Landsat 8 foram obtidas pelo website <http://earthexplorer.usgs.gov/>. A imagem do Landsat 8 obtida possui 11 bandas nas quais o sensor trabalha, além de um arquivo de metadados no qual possui informações sobre algumas características da imagem que são necessárias para as análises futuras, como radiação mínima e máxima para cada banda, reflectância mínima e máxima para cada banda, latitude e longitude das bordas da imagem.

As bandas utilizadas nas análises foram de 1 a 5, pois no momento da correção atmosférica foi verificado que as bandas maiores que 5 apresentavam valores maiores do que os valores não corrigidos. Os valores corrigidos devem ser menores do que os não corrigidos. Desta forma, as bandas maiores que 5 foram descartadas.

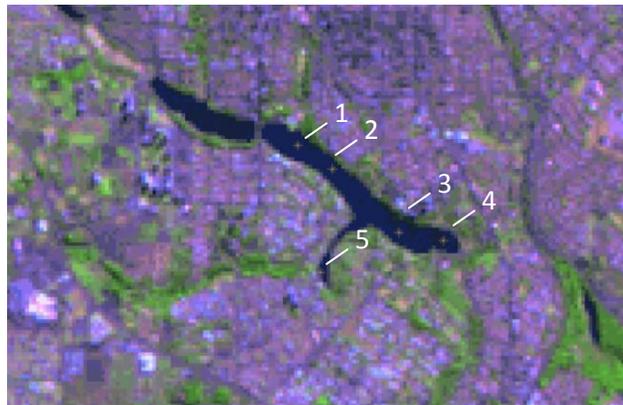
A primeira etapa para o desenvolvimento do trabalho foi o recorte das bandas para a área a ser estudada realizada pelo software Impima. Esse recorte não precisou

ser exatamente da área de estudo, podendo ser mais abrangente para facilitar o registro das imagens (correção geométrica).

Após isso, foi necessário realizar o registro da imagem pelo software Spring. Para o registro é necessário ter uma imagem da área já registrada, sendo essa obtida a partir do site <http://www.inpe.br/>. A imagem utilizada foi a do Landsat 5 já georeferenciada, presente no banco de dados do site.

Após o registro foi necessário verificar se o erro apresentado na imagem está aceitável. Para essa imagem o erro de controle aceitável seria menor do que 1. Após isso os pontos das coletas podem ser importados para a imagem.

A figura 4 apresenta um recorte da área de estudo e os 5 diferentes pontos de coletas.



**Figura 4 – Recorte da área de estudo e pontos de coleta. OLI/Landsat 8 BGR banda 3,4 e 5.  
Fonte: Spring, Próprio autor**

Como foram realizadas coletas em 3 datas diferentes, foi necessária a realização de correção atmosférica para equalizar os dados de reflectância analisados. Para isso, essa reflectância corrigida pela correção atmosférica foi calculada através do software Grass.

O método DOS 4 foi escolhido, pois leva em consideração mais variáveis do que os outros, como remove o efeito espectral da iluminação solar na atmosfera,

proveniente de partículas existentes na atmosfera. O método também apresenta melhores resultados nos métodos de regressão com os dados obtidos em campo.

Com os valores corrigidos de reflectância e as imagens, foi necessária a importação para o software Qgis, o qual apresentou uma melhor visualização para análise das imagens geradas pelo software Grass.

Antes de realizar as correlações dos valores obtidos em campo com os dados da reflectância, foram realizados alguns testes para validar os resultados obtidos, como comparar gráficos de reflectância com o comprimento de ondas das bandas (PEREIRA FILHO, 2003).

Foram testados alguns métodos de regressão para verificação de qual deles apresenta um melhor valor do coeficiente de determinação  $R^2$ , assim o quanto maior for o valor, maior a relação entre os dados de qualidade de água e a reflectância. Esses métodos foram: regressão linear, exponencial e logarítmica; realizadas com o software Excel.

## 6. DISCUSSÃO E RESULTADOS

O lago Igapó atualmente está subdividido em quatro partes, sendo o lago número um o foco deste estudo. Na Figura 5 é possível observar a localização de cada sistema lacunar.



Figura 5 – lago Igapó

Fonte: Adaptado de Lorenzo (2011)

O Igapó possui vários rios afluentes, tendo eles origem de várias regiões da cidade (em sua maioria urbana). O Igapó 1 possui três afluentes, sendo eles o córrego Leme e o córrego Capivara (Figura 6).

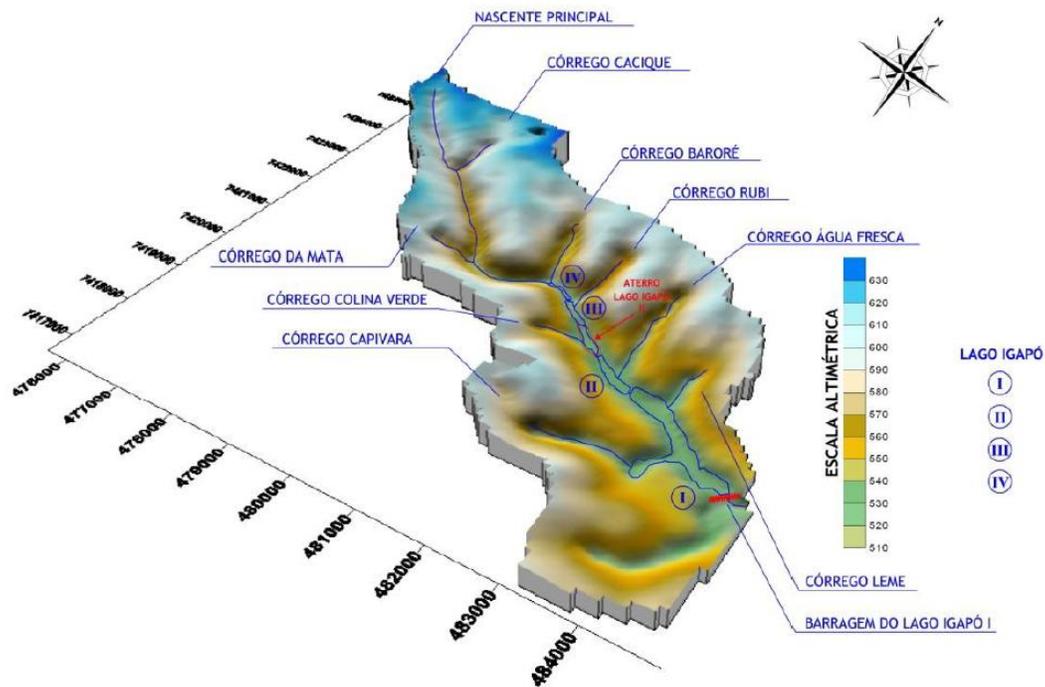


Figura 6 – Bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé

Fonte: Lorenzo, 2011

Os dados obtidos em campo e os dados das reflectâncias das 3 coletas foram agrupados para análises e correlações. Também foi realizado a correção atmosférica sobre os valores de reflectância. As coletas foram realizadas em três dias, sendo eles respectivamente: 15/01/2015, 30/01/2015 e 07/05/2015.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores das variáveis obtidas em campo e as reflectâncias para cada banda, sendo elas separadas pelas dias de coleta e pelo ponto de coleta (ex: P5\_1, ponto 5 dia 1).

Tabela 1- Valores das variáveis hidrossedimentológicas analisadas.

Coleta	Pontos de Coleta	Turbidez (NTU)	pH	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cma}$ )	Cor	Sólidos totais (g/100ml)
1ª Coleta	P5_1	11	7,16	112,8	29	0,002
	P1_1	4,1	7,28	117,4	13	0,0072
	P4_1	6,62	7,25	139,7	16	0,004
	P2_1	4,17	7,13	125,2	13	0,0041
	P3_1	4,6	7,16	118,2	4,6	0,0159
2ª Coleta	P4_2	53,1	6,28	101,7	138	0,0103
	P1_2	27,5	6,86	105,6	66	0,0062
	P2_2	35	6,84	136,5	87	0,0109
3ª Coleta	P5_3	11,8	6,95	121	33	0,0117
	P1_3	15,3	6,72	142,7	36	0,0125
	P4_3	12,7	6,83	128,2	30	0,0126
	P2_3	11,7	6,75	124,2	33	0,0158
	P3_3	13,4	6,85	122,6	35	0,0116

Fonte: Autor

Verificando os valores da tabela 1 percebeu-se que na segunda coleta o lago estava consideravelmente mais turvo do que nas outras duas coletas, isso podendo ser visto pelo valor de turbidez e cor obtidos nos pontos de coleta.

Houve um problema com dois pontos na segunda coleta, os pontos 3 e 4. Pois como o satélite registra as imagens em dias fixos, no dia da segunda coleta havia a presença de nuvens em uma das regiões do lago, impossibilitando a análise da reflectância para dois pontos de coleta. Sendo assim, esses dois pontos foram descartados.

Tabela 2 – Valores de reflectância sem a correção atmosférica

Coleta	Pontos de coleta	Reflectância banda 1	Reflectância banda 2	Reflectância banda 3	Reflectância banda 4	Reflectância banda 5
1ª coleta	P5_1	0,116765	0,096904	0,082147	0,067452	0,046546
	P1_1	0,116519	0,097242	0,091217	0,086052	0,022965
	P4_1	0,115535	0,095859	0,088603	0,075138	0,013848
	P2_1	0,115935	0,096566	0,089157	0,079442	0,022074
	P3_1	0,115110	0,095490	0,088050	0,074830	0,020567
2ª Coleta	P5_2	0,101914	0,081324	0,067132	0,065337	0,077050
	P1_2	0,113886	0,096861	0,102150	0,116743	0,02899
	P2_2	0,112753	0,095161	0,099647	0,105952	0,026139
3ª coleta	P5_3	0,116751	0,096904	0,082147	0,067452	0,045462
	P1_3	0,116211	0,097212	0,091801	0,086117	0,022565
	P4_3	0,115535	0,095859	0,088603	0,075138	0,018384
	P2_3	0,115812	0,096443	0,089280	0,079472	0,021951
	P3_3	0,114520	0,095060	0,087128	0,073938	0,020536

Fonte: Autor

Tabela 3 – Valores de reflectância após a correção atmosférica

Coleta	Pontos de coleta	Reflectância banda 1	Reflectância banda 2	Reflectância banda 3	Reflectância banda 4	Reflectância banda 5
1ª Coleta	P5_1	0,058228	0,062517	0,064365	0,057197	0,024451
	P1_1	0,083222	0,08	0,075476	0,086766	0,102692
	P4_1	0,066635	0,067317	0,051181	0,060428	0,071364
	P3_1	0,033358	0,031529	0,039911	0,048092	0,006346
	P2_1	0,088846	0,087801	0,062139	0,077284	0,10308
2ª Coleta	P5_2	0,021877	0,023001	0,035676	0,052528	0,071294
	P1_2	0,046061	0,048385	0,081832	0,110829	0,019858
	P2_2	0,043771	0,045608	0,078533	0,098591	0,016799
3ª Coleta	P5_3	0,037819	0,041881	0,059142	0,054308	0,099206
	P1_3	0,037095	0,040508	0,066006	0,074601	0,020054
	P4_3	0,034681	0,038644	0,063276	0,062645	0,018206
	P2_3	0,035707	0,039233	0,063549	0,067228	0,019021
	P3_3	0,034319	0,037712	0,061989	0,062025	0,017611

Fonte: Autor

É possível verificar nas tabelas 2 e 3 uma diminuição do valor de reflectância por razão da correção atmosférica realizada, sendo esse comportamento já esperado,

pois a correção atmosférica tende a diminuir os valores de reflectância iniciais obtidos (SONG, 2001).

Realizando os métodos de regressão linear, exponencial e logarítima para encontrar as possíveis correlações entre as variáveis obtidas em campo e os dados de reflectância, considerando todos os dados obtidos, obteve-se alguns valores de  $R^2$  pequenos, assim não demonstrando uma relação ótima entre as variáveis, na qual que era esperada, sendo os melhores valores (valores de  $R^2$  com valor máximo 1), apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de determinação com todos os dados da coleta

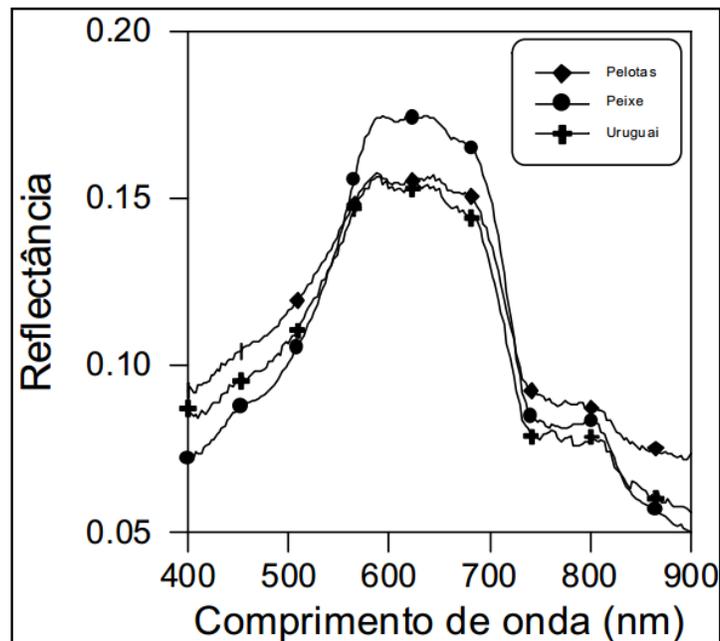
Variáveis	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Método
Turbidez	0,392	0,359	0,039	0,058	0,097	Exponencial
Cor	0,526	0,498	0,055	0,023	0,15	Exponencial
Condutividade	0,01	0,014	0,026	0,001	0,057	Exponencial
Sólidos Totais	0,034	0,032	0,017	0,029	0,028	Exponencial

Fonte: Autor

Para os resultados das correlações, pode-se perceber que os valores de  $R^2$  estão menores que as pesquisas utilizadas como referência (como por exemplo a de Rotta (2009) ), que variam de 0,7 até 0,9. Assim, inexistente uma relação ou existe uma pequena relação entre os dados limnológicos e a reflectância.

Diante deste fato, ao se analisar os dados obtidos pode-se perceber que alguns pontos não apresentam o comportamento esperado (a reflectância não aumenta em relação a concentração de sólidos no lago). Assim, pode-se supor que alguns desses valores de reflectância obtidos estão sob algum tipo de interferência.

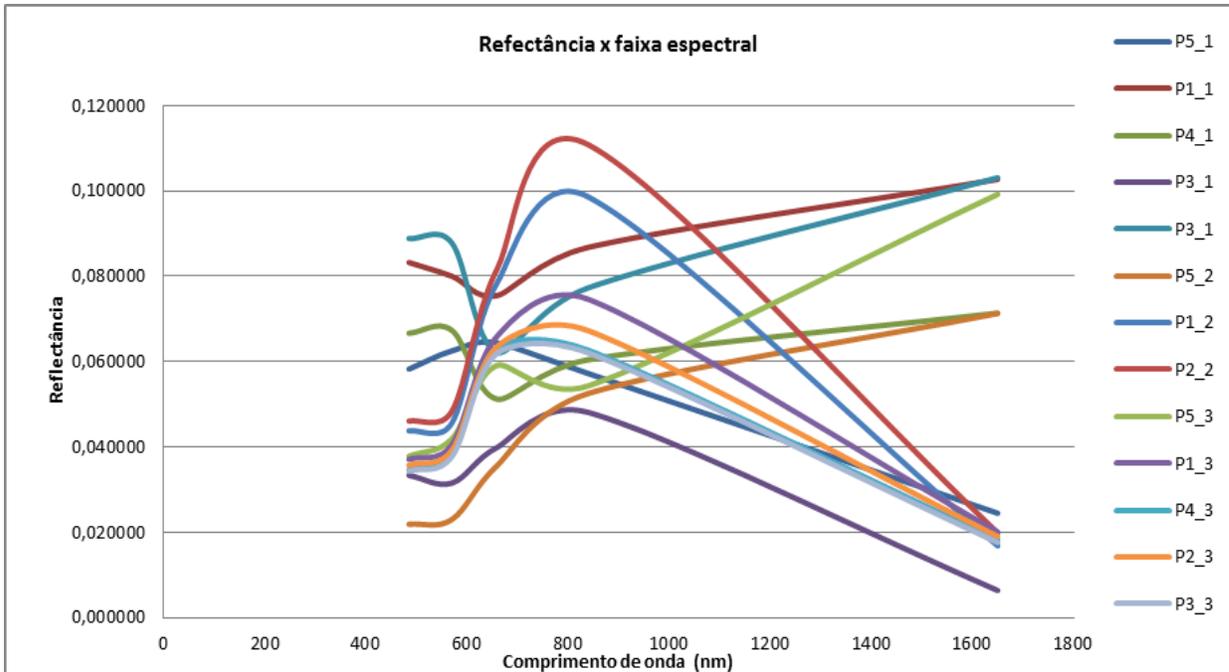
Para analisar quais poderiam ser essas interferências, uma ação que pode ser realizada é a comparação dos valores de reflectância com os comprimentos de onda das bandas. Neste caso, pode-se verificar o comportamento das curvas obtidas com uma curva na qual os valores já estão normalizados para ser utilizada como base de comparação (vide Figura 7).



**Figura 7 – Gráfico base de reflectância x Comprimento de onda das bandas**  
**Fonte: Pereira Filho (2003)**

A Figura 7 apresenta o comportamento de 3 rios do trabalho de Pereira Filho (2003), com o corpo da água associado a uma pequena carga de sólidos presentes. A Figura 8 apresenta as curvas obtidas para todos os pontos coletados em todos os dias de coleta. Assim, com essas curvas pode ser observado se todos os pontos seguem o comportamento apresentado na Figura 7. A curva apresenta um pico ao redor de 800 nm de comprimento de onda e posteriormente uma queda. Para as curvas que não possuem esta tendência, elas podem ser descartadas por não estarem de acordo com os valores já regularizados para esse tipo de situação.

A figura 8 apresenta assim o gráfico obtido dessa interação entre a reflectância e a faixa espectral analisada.



**Figura 8 – Gráfico de todos os pontos de reflectância x comprimento de onda das bandas**  
**Fonte: Autor**

Comparando as figuras 7 e 8, pode-se perceber que o comportamento tomado como referência apresentado pela figura 7 é quando a curva aumenta até atingir um pico ao redor de 600 nm, e após 700 nm uma queda é esperada. Para alguns pontos na figura 8 o que acontece é o contrário, ao invés dela seguir esse comportamento descrito ela apresenta um comportamento diferenciado, assim pode-se concluir que os dados de reflectância obtidos nesse ponto estão sofrendo algum tipo de interferência, que no caso o esperado é que seja a reflectância de fundo.

Por isso os pontos P5\_1, P1\_1, P4\_1, P3\_1, P5\_2 e P5\_3 foram descartados. Com a retirada desses pontos, o gráfico das curvas que apresentaram um comportamento igual ao do comportamento de referência pode ser visto na Figura 9.

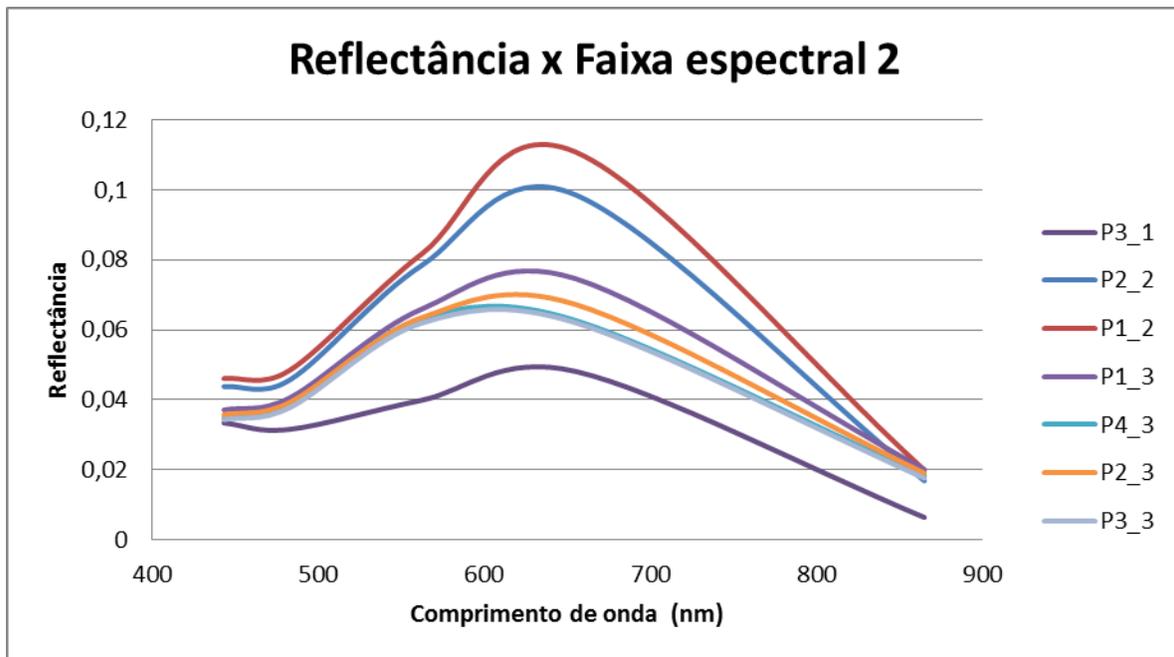


Figura 9 – Gráfico de reflectância x comprimento de onda com somente os pontos com o corpotamento esperado

Fonte: Autor

Os novos coeficientes de determinação dos dados obtidos em campo com as reflectâncias para os pontos nas quais as curvas de reflectância e faixa espectral apresentaram comportamento esperado são apresentados na Figura 9. Assim, para esses pontos foram realizadas correlações para os seus valores nas 5 primeiras bandas utilizando a regressão linear, exponencial e logarítma. Após isso, foi verificado qual desses métodos apresentou um melhor valor de  $R^2$  (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores do coeficiente de determinação  $R^2$  sem os pontos retirados

Variáveis	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Método
Turbidez	0,842	0,903	0,961	0,851	0,216	Exponencial
Cor	0,821	0,794	0,769	0,823	0,192	Linear
Condutividade	0,098	0,075	0,038	0,103	0,001	Exponencial
Sólidos Totais	0,016	0,076	0,224	0,016	0,544	Exponencial

Fonte: Autor

É possível observar que para as bandas 1,2,3 e 4 (espectro visível) o valor de  $R^2$  nas regressões apresentou um aumento significativo, principalmente para a turbidez

e a cor aparente, mostrando assim que seleção dos pontos análogos ao comportamento de Pereira Filho (2003) foi correta, mostrado pelo aumento dos valores de  $R^2$ .

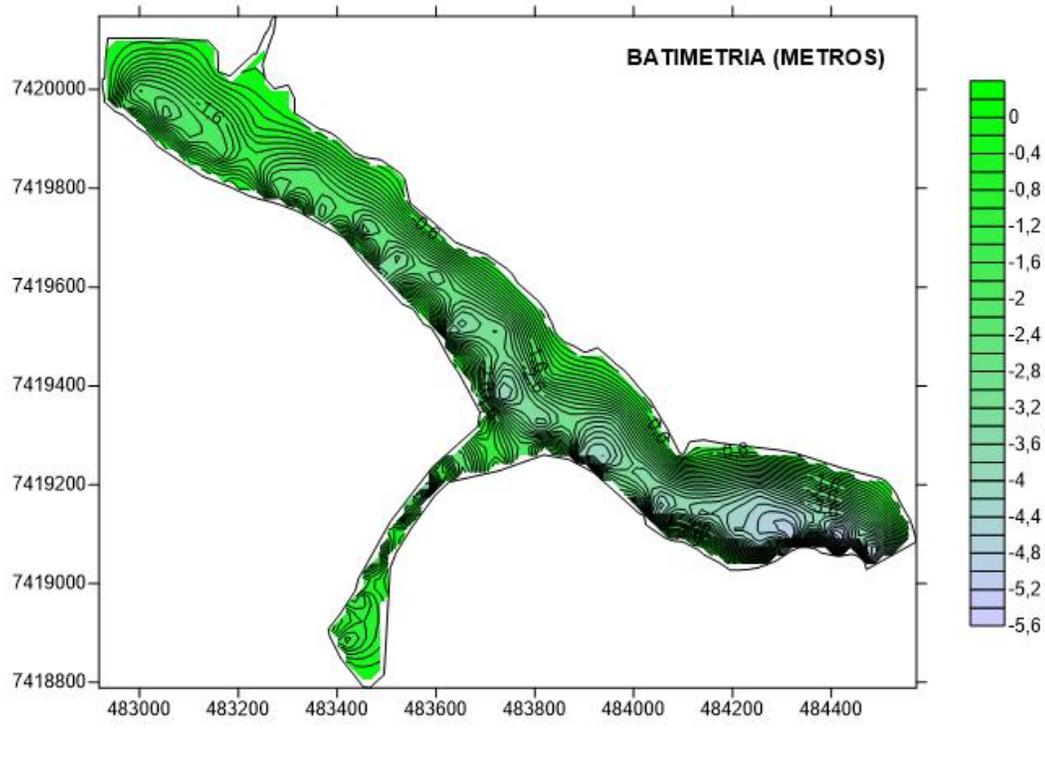
As melhores bandas para essas duas variáveis foram da 1 até a 4, aonde realmente era esperado o melhor resultado, pois nelas estão presentes os comprimentos de onda visível, que podem ser consideradas a melhor região para a análise de corpos d'água. Diferentemente da banda 5, na qual é definida como a região do infravermelho próximo, voltada para estudos de corpos de água que possuem uma grande concentração de sólidos (ROTTA *et al*, 2009).

Para a turbidez, o melhor método para encontrar que há uma relação entre ela e a reflectância foi o da regressão exponencial, mas a regressão linear também apresentou valores aceitáveis de  $R^2$  na faixa de 0,8. A regressão exponencial se apresentou melhor para todas as bandas, somente para a 1 a linear foi melhor.

Para a cor aparente, o melhor método de regressão foi o linear em todas as bandas, sendo obtidos valores de  $R^2$  maiores do que 0,8. Essas correlações demonstram o que foi comentado na literatura (VILCHES, 2013), de que os componentes opticamente ativos na água (no qual influenciam o valor de cor e turbidez) se relacionam de uma forma direta com a reflectância.

Os métodos de regressão dos sólidos totais apresentaram valores considerados relativamente baixos. Uma das razões deste fato ter ocorrido é a existência de compostos dissolvidos que interferem na relação com a reflectância, pois de forma geral, não modificam valores como a turbidez associadas aos sólidos suspensos.

Para analisar a profundidade de cada ponto de coleta foi utilizada uma batimetria realizada por (MANGILI, 2013). Pela imagem da batimetria (Figura 10) pode-se verificar que o lago não é muito profundo em sua maior parte, apresentando profundidades maiores em locais próximos a saída da barragem, ponto de coleta 4.



**Figura 10 – Batimetria do lago Igapó 1**  
**Fonte: MANGILI, 2013**

A profundidade dos pontos onde as amostras foram coletadas podem ser vistas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Profundidade dos pontos amostrais**

<b>Pontos amostrais</b>	1	2	3	4	5
<b>Profundidade (metros)</b>	1,61	2,03	3,59	4,33	0,92

**Fonte: Autor**

De acordo com Jensen (2009) a reflectância de fundo aumenta quando o corpo d'água está menos turvo e quanto menor for a profundidade. No caso do Lago Igapó ele pode ser considerado um lago raso porque a maior profundidade é de 5,6 metros e a maioria da profundidade é menor que 2,5 metros. Neste caso é esperado que haja uma resposta de fundo maior.

Levando em consideração essas informações, o ponto de coleta 5 apresenta uma pequena profundidade em comparação com os outros pontos do Lago. Desta forma, neste estudo ele será descartado, pois possivelmente a reflectância de fundo interferiu com um maior grau nesse ponto, pela pequena profundidade.

Outra razão para poder descartar as coletas do ponto 5 foi que no método anterior a reflectância comparada com os comprimentos de onda, em todos os 3 dias de coleta, apresentaram curvas fora do padrão descrito por Filho (2003). Este fato reforça a probabilidade de existir neste ponto uma grande influência da resposta de fundo.

Outra consideração que pode ser feita para este estudo é a constatação de que no primeiro dia de coleta o lago estava muito límpido (fato que pode ser comprovado pelos valores de turbidez que estão menores do que 10 UNT), o que promove uma maior influência da reflectância de fundo.

Com essas considerações foram descartados todos os pontos da primeira coleta e o ponto de coleta 5, sendo que os pontos restantes acabaram sendo praticamente os mesmos que foram considerados na Figura 8 como os ideais (a única diferença seria o ponto de coleta 2 para a primeira coleta). Este fato, consolida a consideração realizada anteriormente, na qual o valor da reflectância nesses pontos está provavelmente sendo influenciada pela reflectância de fundo.

Os pontos restantes apresentam uma mudança em seus valores do coeficiente de determinação, principalmente para os sólidos totais (vide Tabela 7).

Tabela 7 – Valores do coeficiente de determinação levando em consideração a profundidade

Variáveis	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Método
Turbidez	0,873	0,827	0,896	0,846	0,05	Exponencial
Cor	0,857	0,801	0,873	0,824	0,118	Exponencial
Condutividade	0,128	0,169	0,142	0,157	0,061	Exponencial
Sólidos Totais	0,636	0,645	0,63	0,616	0,054	Exponencial

Fonte: Autor

A partir desta modificação, nota-se que o  $R^2$  para os sólidos totais aumentou significativamente. O melhor método para esta variável ainda foi o exponencial. Porém, a variável sólidos totais pode apresentar problemas devido a inserção indireta dos sólidos dissolvidos, mesmo assim o valor de  $R^2$  final pode ser considerado razoável por estar maior do que 0,6.

Os coeficientes de determinação da turbidez e cor aparente diminuíram um pouco o seu valor em relação a reflectância, mas mesmo assim eles ainda apresentam valores maiores do que 0,8, idênticos aos determinados na pesquisa de Pinheiro (2003). Isto demonstra que o valor de  $R^2$  para essas duas variáveis é bom, mostrando assim que há uma relação entre essas variáveis.

A condutividade em todos os testes não demonstrou nenhum valor de  $R^2$  significativo, pois não é opticamente ativo, não apresentando para esse estudo uma relação com a reflectância. Isto pode ser explicado pela associação da condutividade com os sólidos dissolvidos que não apresentam, neste caso, relação associada a turbidez e a cor aparente.

Nas Figuras 11,12 e 13 são apresentados as melhores modelos obtidos para a turbidez, cor aparente e sólidos totais, sendo que as correlações para as outras bandas estão nos apêndices finais.

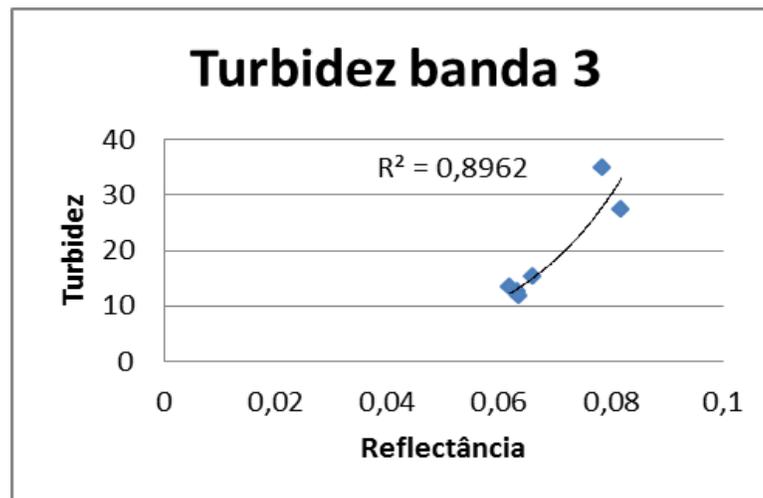


Figura 11 – Gráfico da relação de turbidez nos pontos para a banda 3  
Fonte: Autor

No gráfico da figura 11 pode-se ver que a turbidez é diretamente proporcional a reflectância e que o valor de  $R^2$  obtido foi de quase 0,9, mostrando assim a existencia de uma relação entre as duas variáveis. A equação da curva apresentada é:

$$y = 0,561e^{49,766x} \quad (1)$$

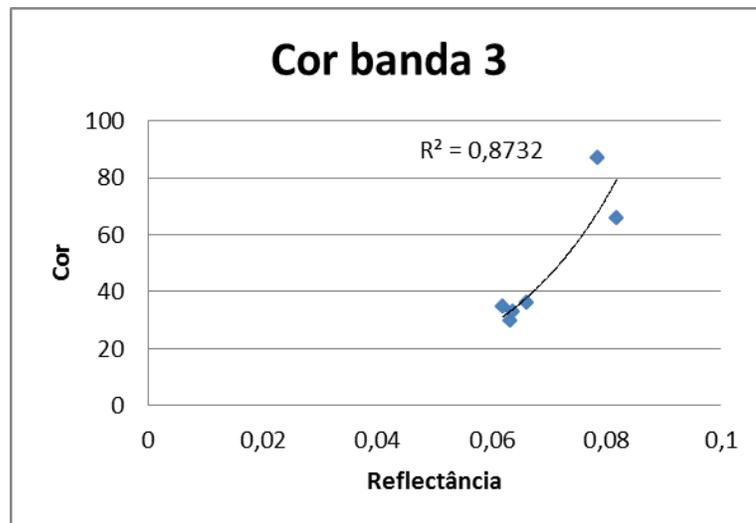


Figura 12 – Gráfico da relação da cor nos pontos para a banda 3

Fonte: Autor

Para a cor o valor de  $R^2$  também demonstra uma relação entre essas duas variáveis. A equação da curva obtida é:

$$y = 1,6977e^{47,007x} \quad (2)$$

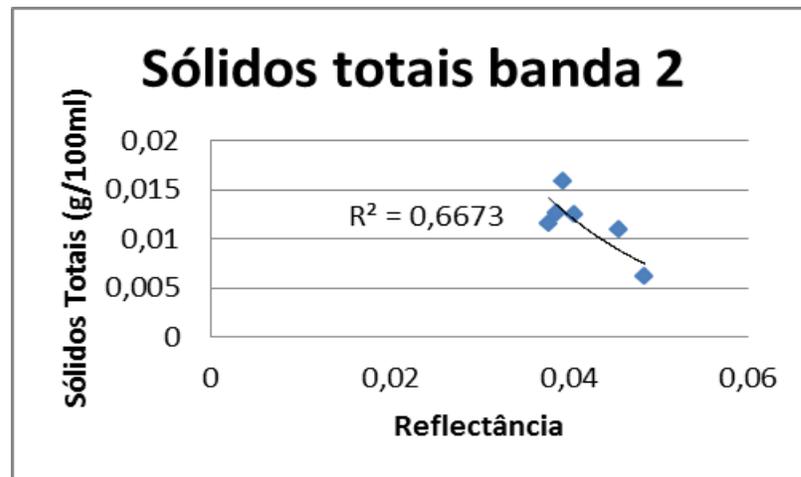


Figura 13 – Gráfico da relação dos sólidos totais nos pontos para a banda 2  
Fonte: Autor

O gráfico para os sólidos totais apresentou um comportamento não esperado, pois está inversamente proporcional com a reflectância. A sua equação de curva é:

$$y = 0,1349e^{-59,75x} \quad (3)$$

A partir dos dados apresentados é possível visualizar como os dados estão se comportando. A primeira afirmação que pode ser feita sobre o comportamento das variáveis é que a região da banda 3 se mostrou mais pronunciada para as correlações de cor aparente e turbidez com a reflectância. Pode-se afirmar que para este trabalho a banda 3 seria uma boa escolha para analisar o comportamento dessas duas variáveis em corpos d'água.

Para os sólidos totais, o valor de  $R^2$  teve um aumento em comparação com as outras correlações, mas o modelo apresentou um ajuste inverso ao esperado. O ideal seria que a menor quantidade de sólidos gerasse uma maior reflectância (ROTTA *et al*, 2009). Assim, os dados obtidos para Sólidos totais podem ter problemas associados a presença de sólidos dissolvidos e seus resultados são passíveis de discussão. Os sólidos suspensos, ao invés dos sólidos totais, é a variável mais adequada para estudos de uma relação de sólidos com a reflectância.

O método utilizado pode ser utilizado com concentrações de sedimentos variáveis, sendo elas grandes ou pequenas, mas sendo ideal para águas turvas ou

residuais, para assim diminuir a interferência da reflectância de fundo nos valores de reflectância.

## 7. CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho são:

- As variáveis cor aparente e turbidez apresentaram boas correlações com a reflectância medida, podendo ser utilizadas para outros estudos similares;
- Neste trabalho foram utilizados critérios de descarte de pontos associados a grande interferência de fundo em relação a reflectância. Os possíveis interferentes podem ser associados a curva de reflectância e faixa espectral, bem como a profundidade dos pontos de coleta.
- Apesar dos bons valores de  $R^2$  para a turbidez e cor aparente, os sólidos totais apresentaram um comportamento inverso ao ideal para os métodos de verificação da relação entre as variáveis, pois não são opticamente ativos.
- Por fim pode-se concluir que, apesar dos problemas, o resultado final foi satisfatório, pois mostrou que a reflectância obtida por imagens do Landsat 8 se correlaciona com variáveis opticamente ativos na água, reafirmando estudos já realizados na área. Desta forma, este trabalho apresenta-se como uma ótima ferramenta para estudos com interesse ambiental para reservatórios em sistemas urbanos.
- Para trabalhos futuros seria necessário uma escolha prévia dos pontos de coleta em relação a sua profundidade e a investigação de mais pontos amostrais. Além disso para uma melhor análise o tempo de coleta teria que ter pelo menos a duração de um ano.

## REFERÊNCIAS

**Águas Superficiais**, CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#cor>>, acesso em 14 de março 2015.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2001). Standard methods for examination of water and wastewater. 20th ed.

BRASIL, **Resolução CONAMA n°357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

BUFON, A.G.M, **Tempo de vida útil da represa velha da microbacia do córrego da barrinha**, Pirassununga, SP, Brasil. Universidade estadual Paulista, São Paulo, dez, 2009.

BUFON, A.G.M, **Estudo do Assoreamento e sua relação com a vida útil do reservatório “Represa Velha”, CEPTA/IBAMA, Pirassununga/SP**. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

CABRAL, João Batista pereira. Avaliação do estado de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG). **Sociedade & Natureza**, vol. 21, pag. 97-117. Uberlândia, 2009.

CABRAL, João Batista pereira. Estudo do Processo de assoreamento em reservatórios. **Caminhos da geografia - revista online**, vol 6, pag 62-69. 2005.

CAMARGO, O.A., **Métodos de análise química, mineralógica, e física de solos do instituto agrônomo de Campinas**, Campinas, Instituto agrônomo, 2009. 77 p.

**Comportamento espectral dos alvos**, Colégio Politécnico da UFSM. Disponível em: <[http://200.132.36.199/elodio/downloads/sr/SR\\_Aula\\_06\\_Agua.pdf](http://200.132.36.199/elodio/downloads/sr/SR_Aula_06_Agua.pdf)>, acesso em 01 de junho 2015.

DIAS, Nelson Wellausen, MORAES, Elisabete caria, **Caracterização das águas da represa de Paraibuna com o uso de dados Hiperespectrais**, Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianopolis, Brasil, 2007, 3335 – 3342 p.

HAYAKAWA, E. D. **Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do alto Rio Paraná via imagens orbitais: Região de Porto São José – Pr**, Maringá, Paraná, Universidade Estadual de Maringa, 2007.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da Segunda Edição por José Carlos Neves Epiphanyo (coord) et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

**Landsat 8**, USGS. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>, acesso em 02 de março 2015.

LEITE, Mauricio Augusto. **Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana- SP) e sua influencia sobre as características liminológicas do sistema.** Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

**Lago Igapó**, Prefeitura de Londrina. Disponível em: <[http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100&Itemid=112](http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=112) > , acesso em 10 de julho 2014.

Lorenzo, M. P.; **Caracterização dos impactos ambientais negativos e medidas mitigatórias do processo de assoreamento do Lago Igapó**, Londrina, Paraná, Unifi, 2011.

MANGILI, F. B. **Calibração do modelo de decaimento da DBO associado a qualidade da água do lago Igapó I em Londrina/PR.** Londrina, Paraná, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

MENESES, P. R. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, Distrito Federal, Universidade de Brasília, 2012.

PARRON, L. M.; MUNIZ D. H.; PEREIRA C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**, Colombo, Paraná, Embrapa, 2011.

PEREIRA, R. **Aplicabilidade de métodos de Sensoriamento Remoto na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande Do Sul – Brasil.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2007.

PEREIRA FILHO, W.; Straussburger, L.; Barbosa, C. F.; **Caracterização Espectral do reservatório de Itá – Sul do Brasil.** Anais do XI SBSR, 2003, pp. 2555 – 2559.

PINHEIRO, A.; BARROS, V. G. Uso de Imagens orbitais no monitoramento da turbidez e sólidos em rios. CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA. **Anais.** Blumenau, 2003.

PINTO, M. C. **Manual Medição *in loco*: Temperatura, pH, Condutividade elétrica e Oxigênio dissolvido** versão maio 2007. Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, 2007

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspéctos físico-químicos.** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 285 p.

ROTTA, L. H. S.; IMAI, N. N.; FERREIRA, M. S. Modelo de regressão na estimativa de sólidos em suspensão por meio de imagens multiespectrais TM-Landsat 5 e CCD-CBERS 2B – Estudo de caso: Planície de inundação do Alto Rio Paraná. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais.** Natal, p. 5413 – 5420.

SANTOS, Monaliza Alves, **Comparação de métodos para quantificação da fração da argila em solo**, Dois irmãos, Pernambuco, Universidade estadual rural de Pernambuco.

STATELLA, T. **Aplicação de análise derivativa ao estudo da composição da água em uma região do rio Paraná**. Universidade Estadual paulista, Cuiába, Brasil, 2010.

SONG, C. **Classification and Change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects?** University of Boston, Boston, United States, 2001.

TEODORO, A. C. **Utilização de imagens de satélite na determinação de sedimentos suspensos totais em zonas costeiras**. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, 2007.

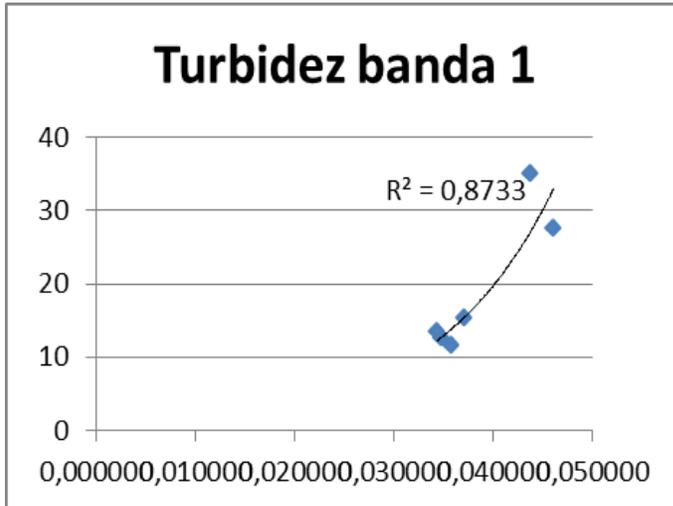
TRENTIN, A. B. **Sensoriamento Remoto Aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no reservatório Passo Real – RS**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2009.

**Textura do solo**, Embrapa. Disponível em: <[http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/paqlf/wpcontent/uploads/2008/08/textura\\_solo.pdf](http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/paqlf/wpcontent/uploads/2008/08/textura_solo.pdf)>, acesso em 20 de setembro 2014.

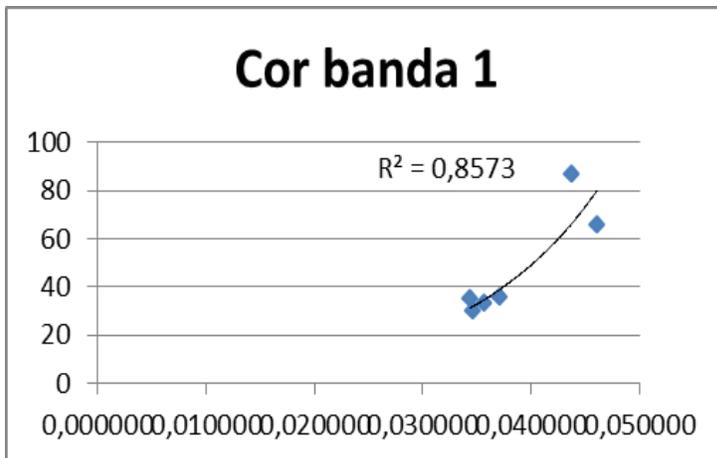
VILCHES, T. T. B. **Relação entre reflectâncias de imagens orbitais e transporte de sedimento em suspensão no rio doce**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2013.

**APÊNDICES****APÊNDICE A – Correlações para a banda 1**

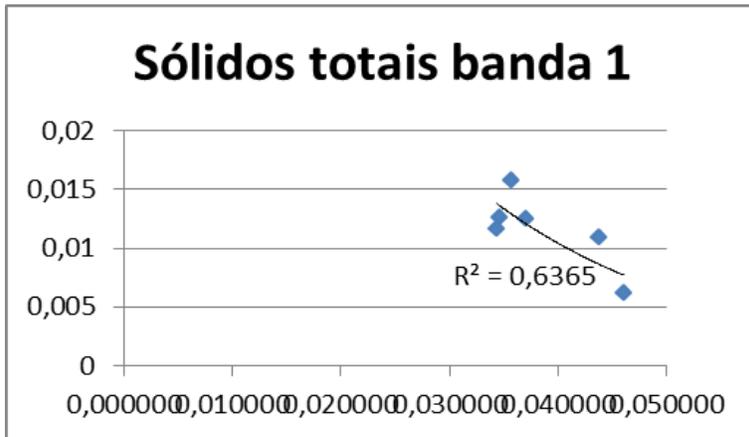
## 1 - Turbidez



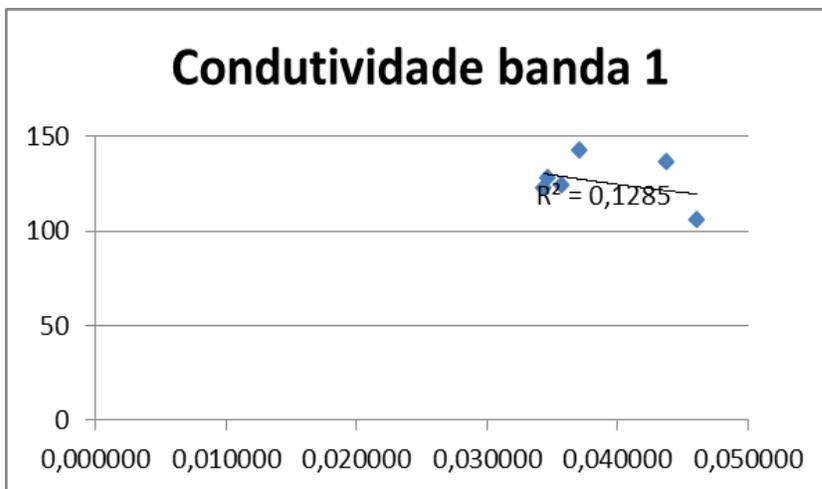
## 2 - Cor



## 3 – Sólidos totais

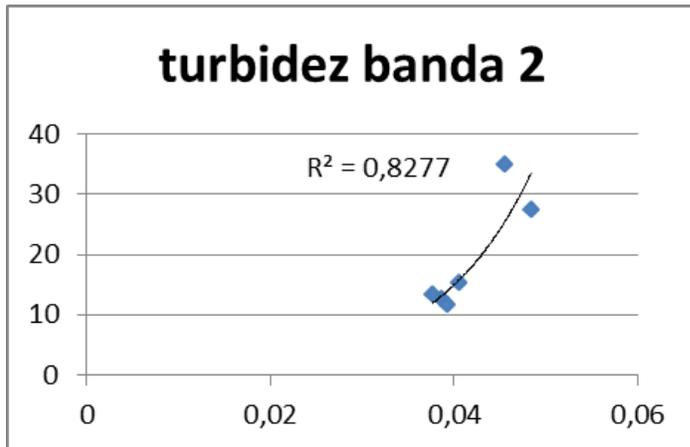


## 4 - Condutividade

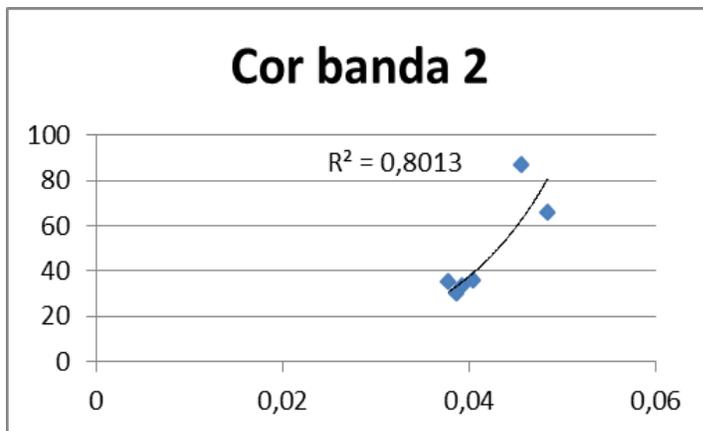


**APÊNCIDE B – Correlações para a banda 2**

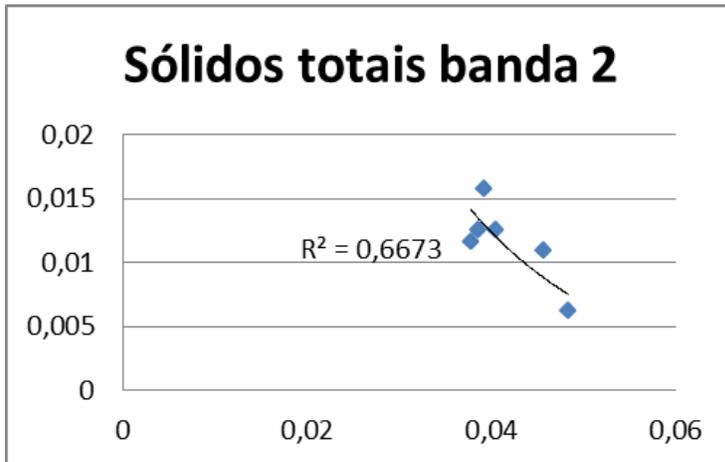
## 1 - Turbidez



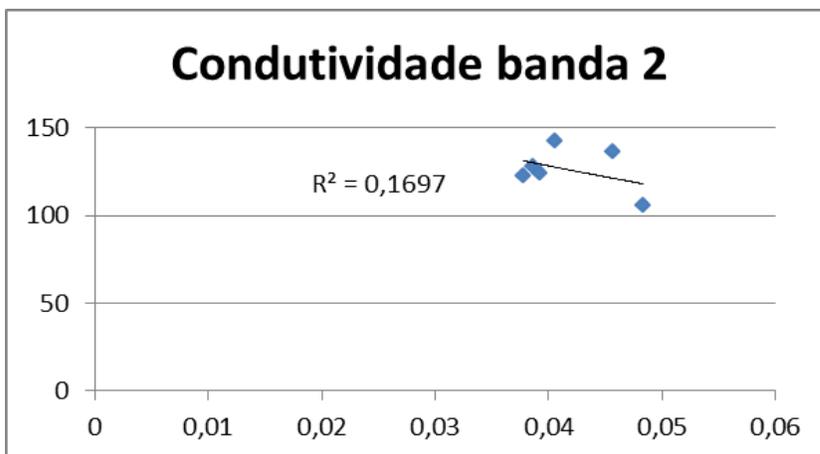
## 2 – Cor



## 3 – Sólidos Totais

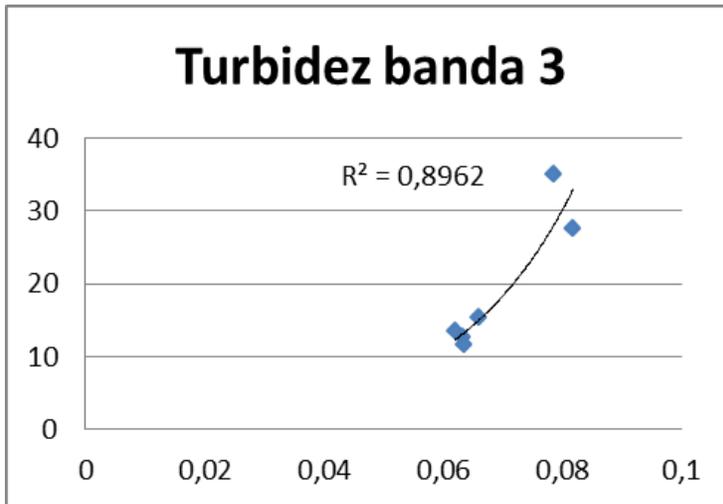


## 4 – Condutividade

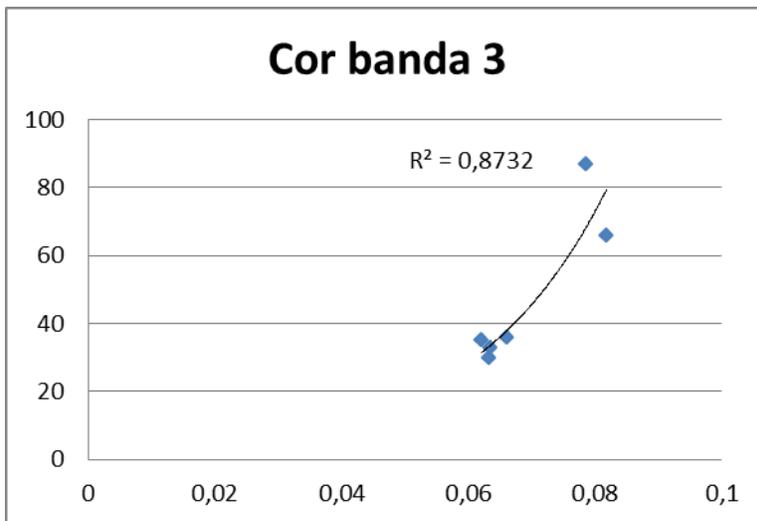


**APÊNDICE C – Correlações para a banda 3**

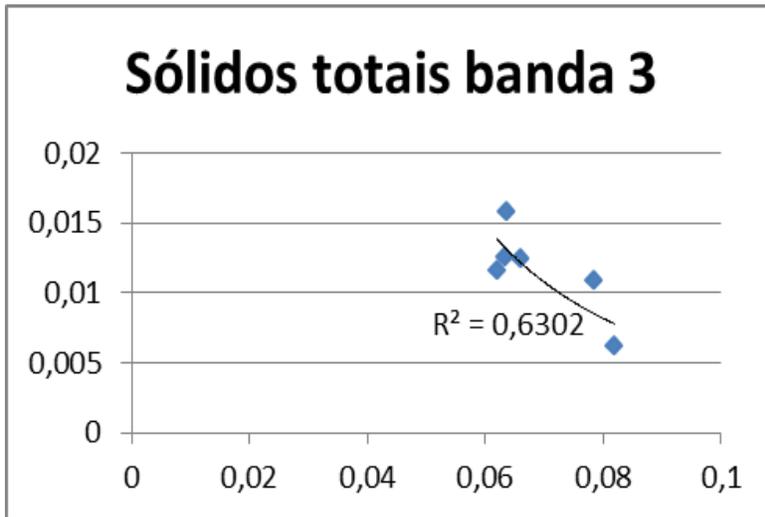
## 1 – Turbidez



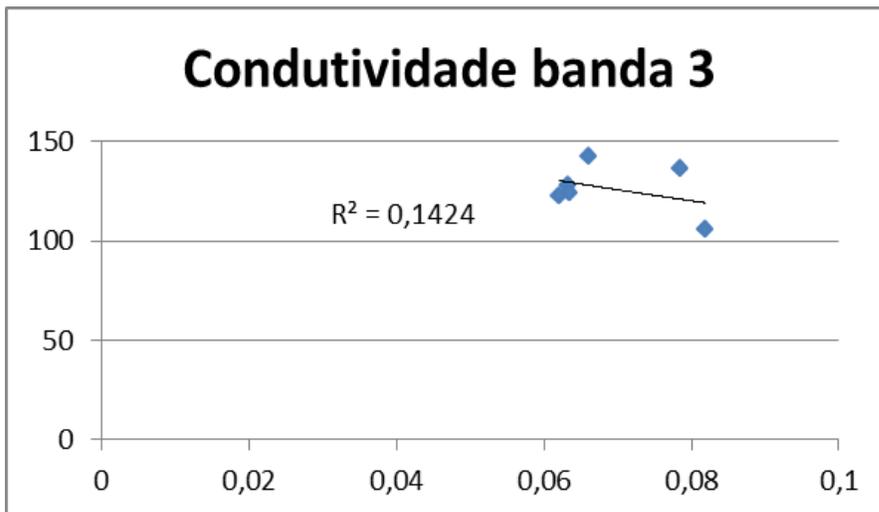
## 2 – Cor



## 3 – Sólidos Totais

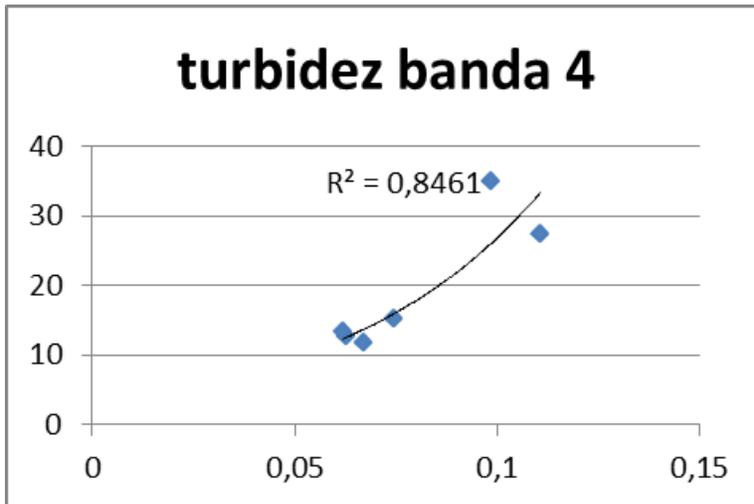


## 4 – Condutividade

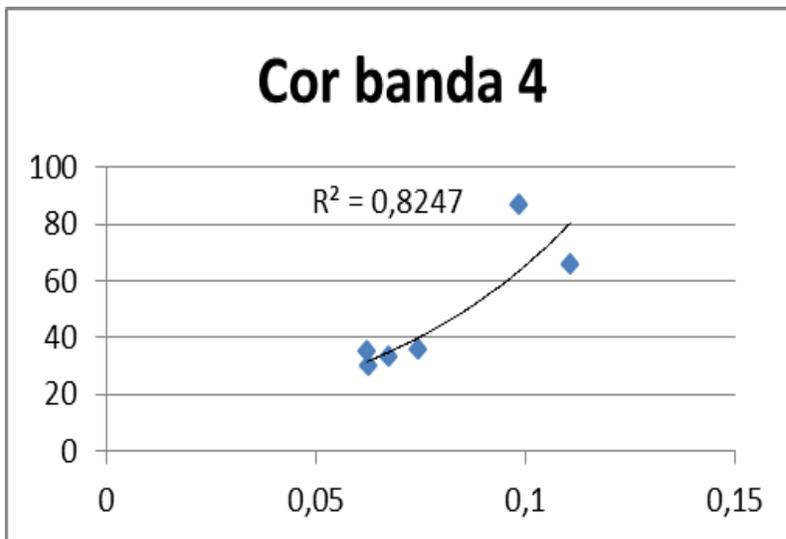


**APÊNDICE D – Correlações para a banda 4**

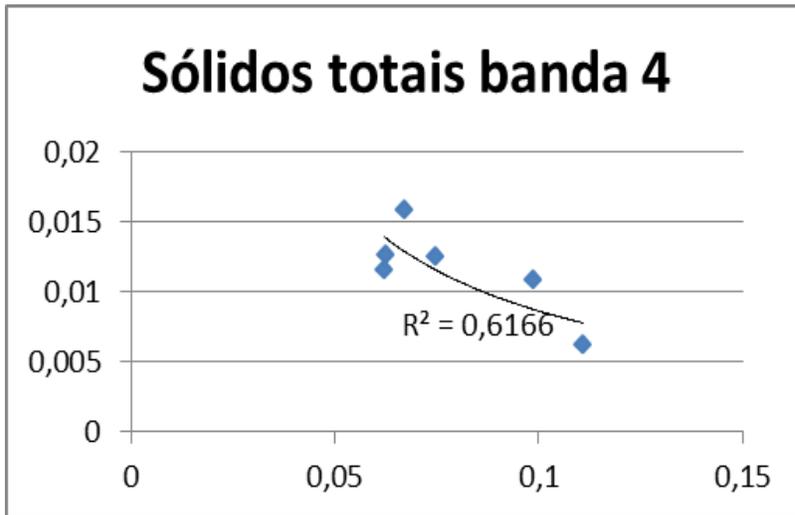
## 1 – Turbidez



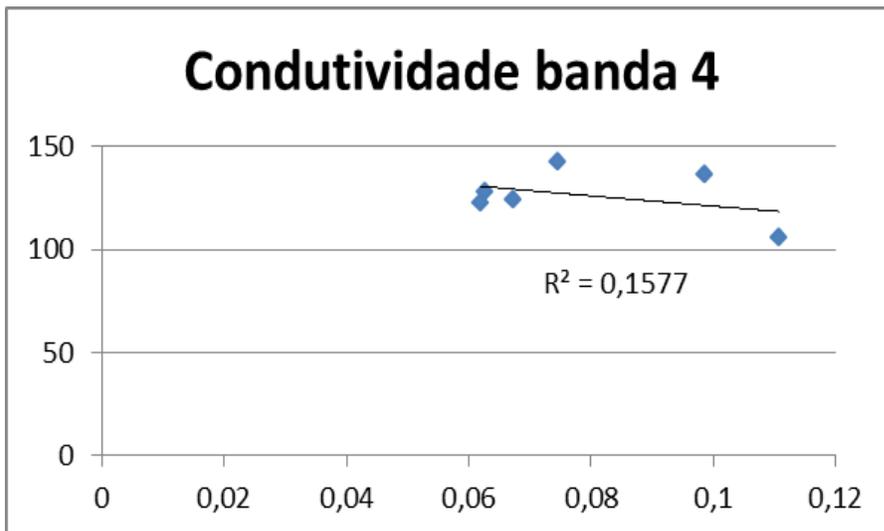
## 2 – Cor



## 3 – Sólidos totais

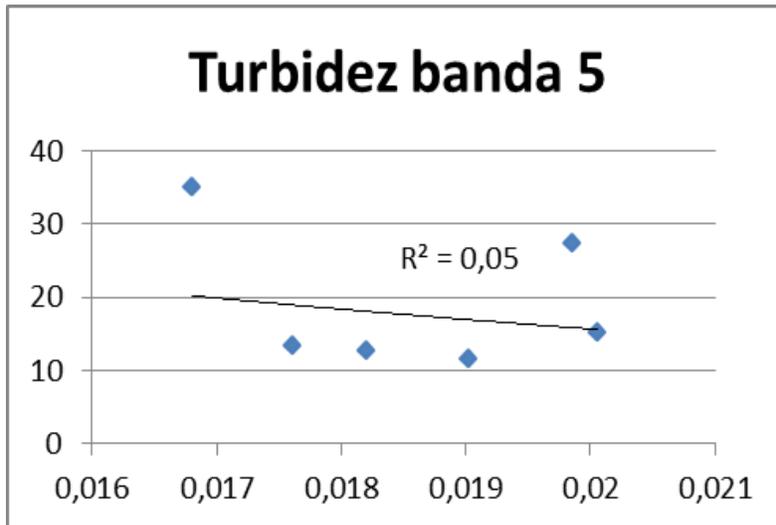


## 4 – Condutividade

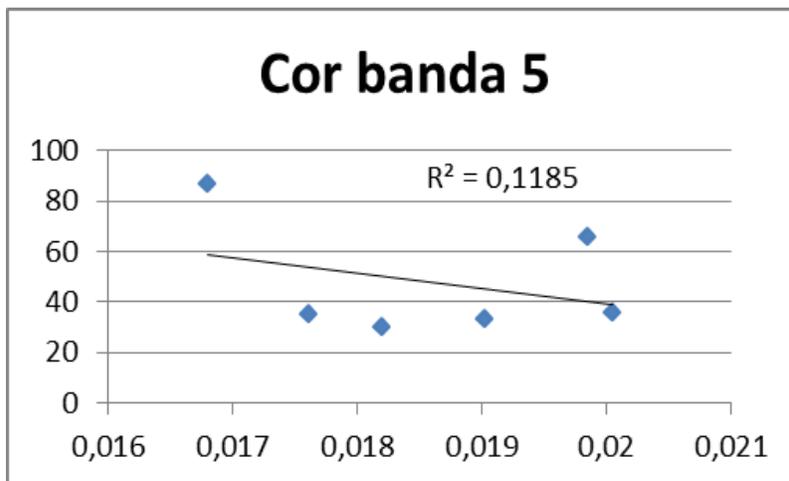


**APÊNDICE E – Correlações para a banda 5**

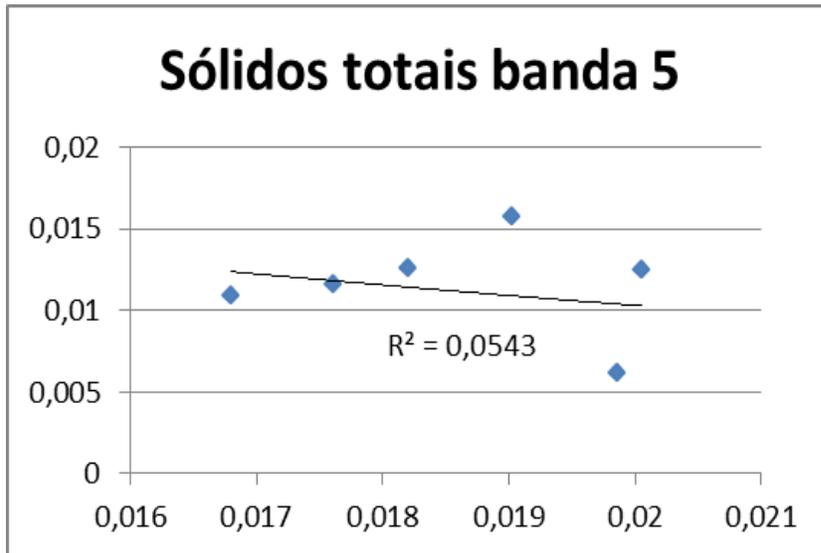
## 1 – Turbidez



## 2 – Cor



## 3 – Sólidos Totais



## 4 – Condutividade

