Processamento Digital de Imagens

Prof. Bogdan Tomoyuki Nassu

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Hoje

- *High dynamic range* (HDR) e *tone mapping*.

Problema: alcance dinâmico

- Vimos anteriormente o conceito de alcance dinâmico.
  - O que significava?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Problema: alcance dinâmico

- Vimos anteriormente o conceito de alcance dinâmico.
  - Faixa de valores ou de luminâncias que um dispositivo ou representação suporta.
- Problemas: subesposição e superexposição.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

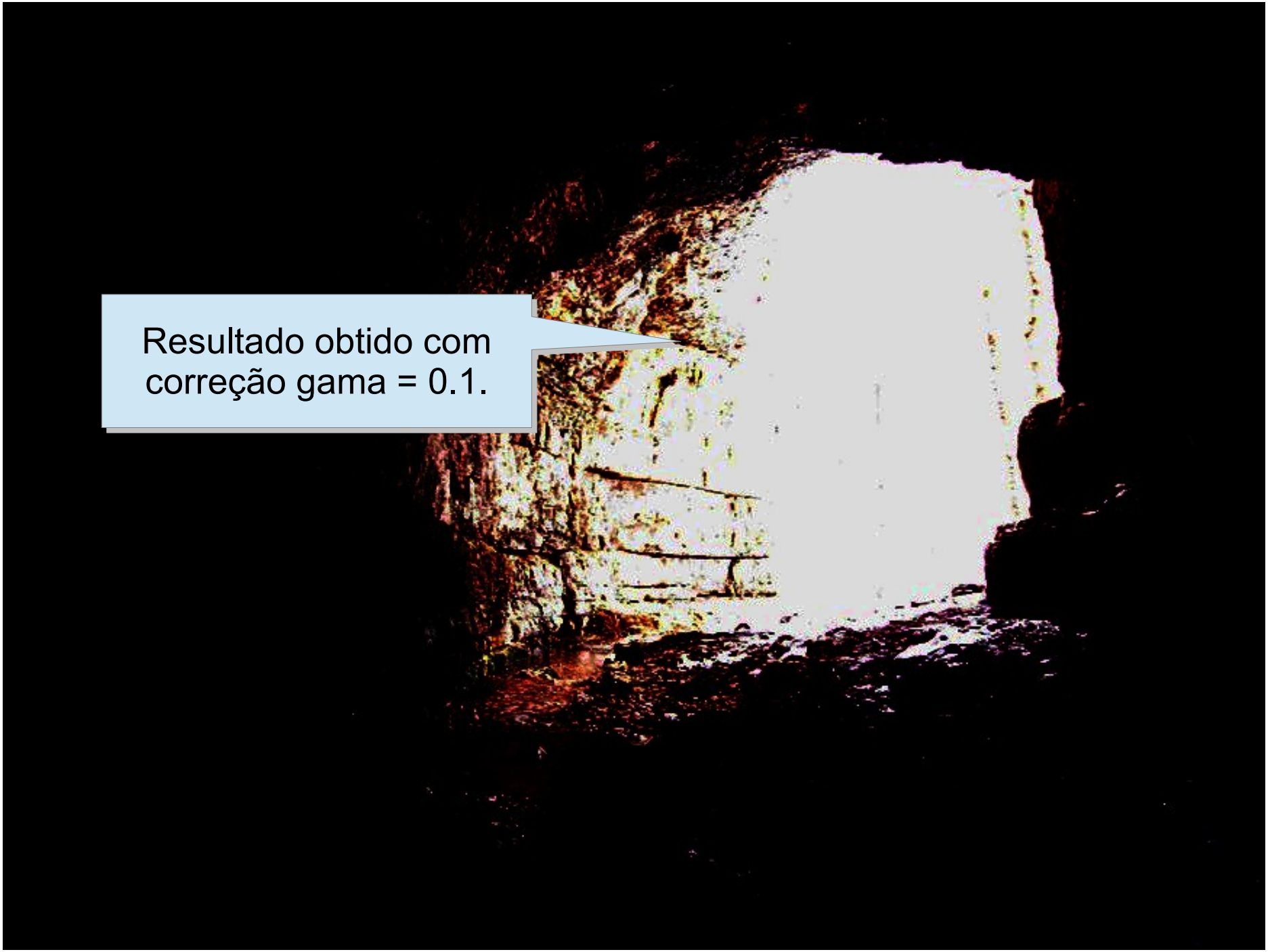
UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Problema: alcance dinâmico

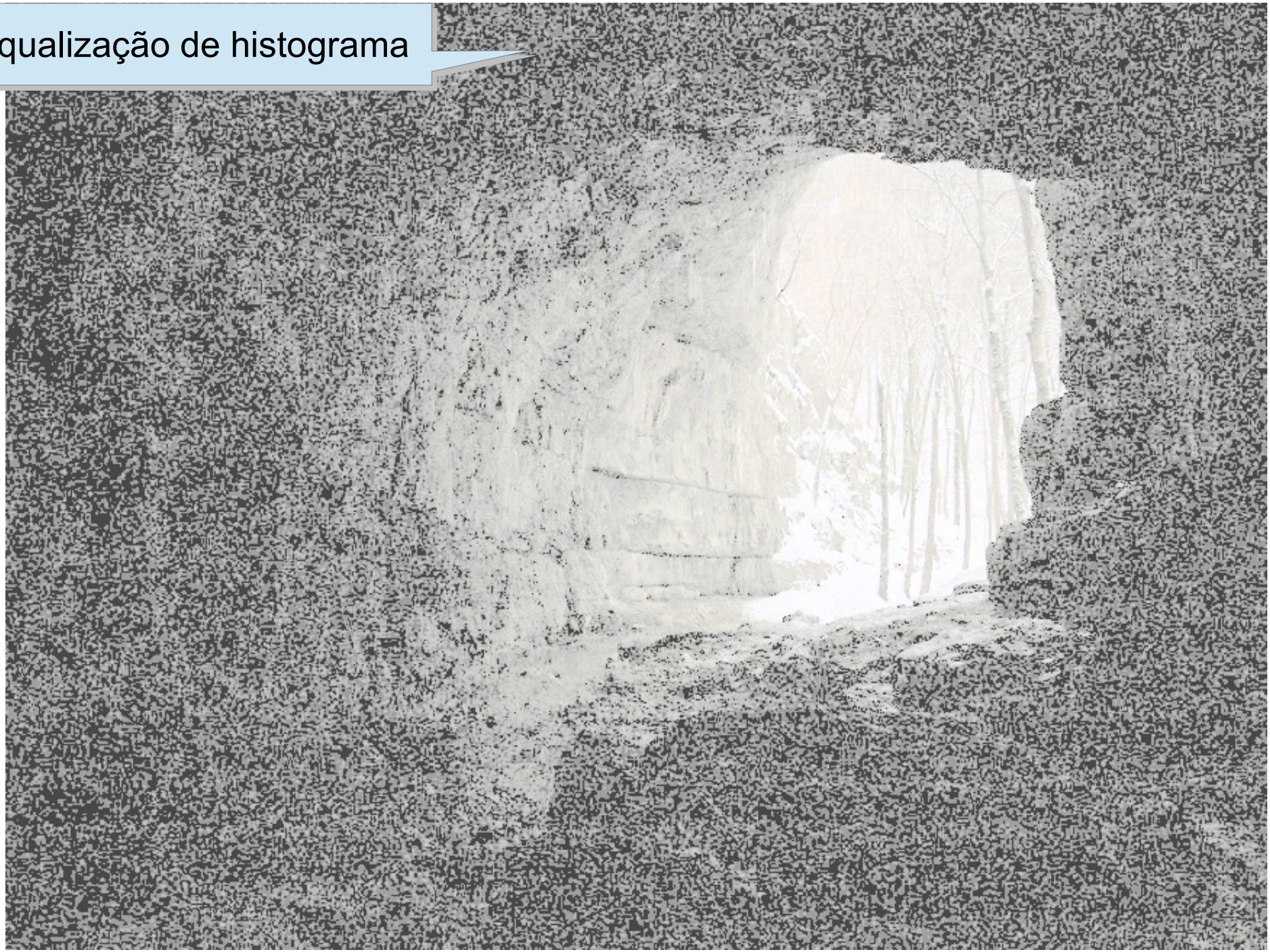
- Algumas das técnicas vistas anteriormente podem ajudar a tratar uma imagem com regiões difíceis de visualizar.
  - Quais?

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

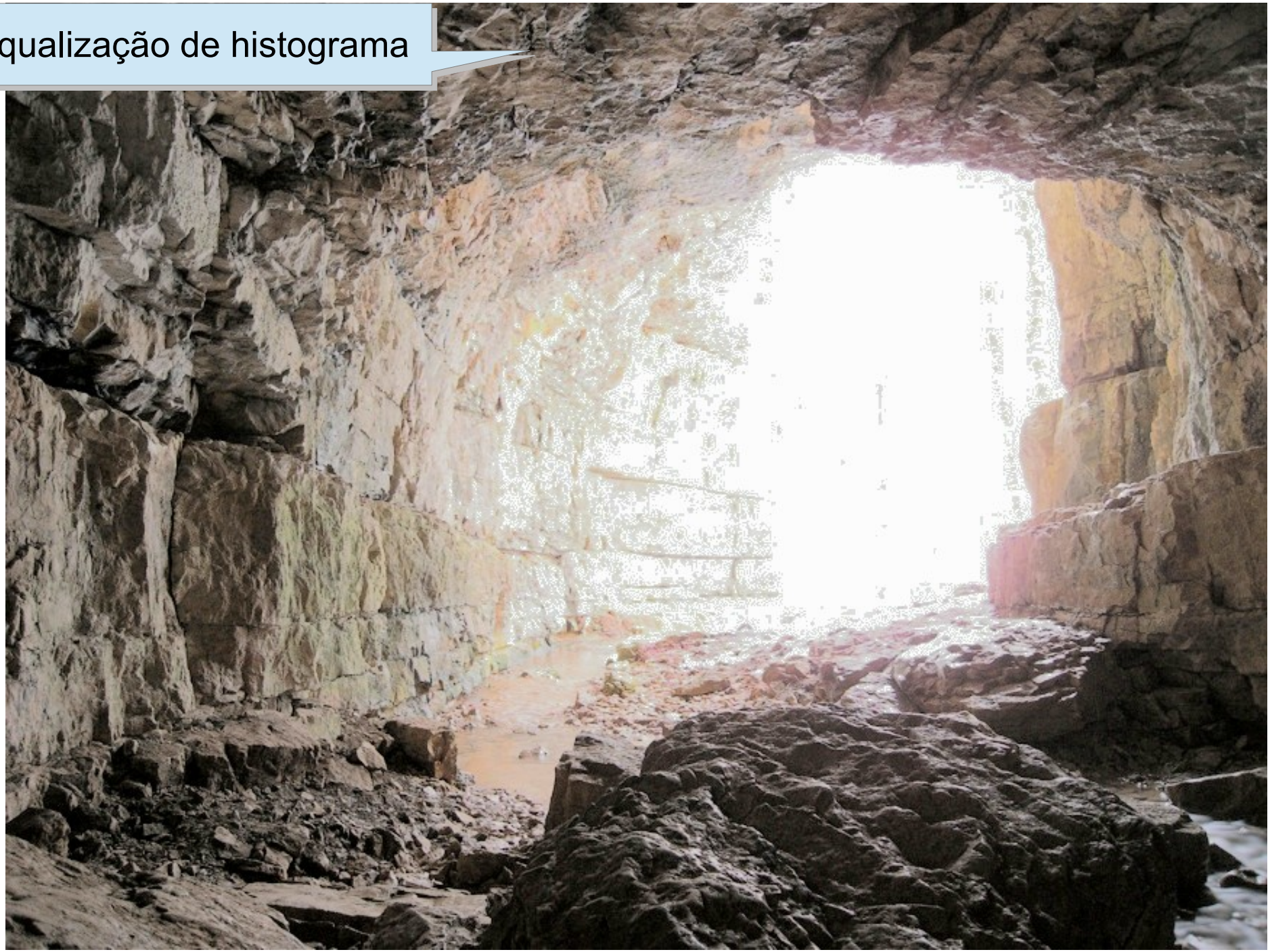
Resultado obtido com
correção gama = 4.


Resultado obtido com
correção gama = 0.1.

Equalização de histograma



Equalização de histograma



Problema: alcance dinâmico

- Algumas das técnicas vistas anteriormente podem ajudar a tratar uma imagem com regiões difíceis de visualizar.
  - Normalização (global ou local).
  - Equalização de histograma.
  - Ajustes simples de cores.
  - Correção gama.
- Poréns:
  - Em imagens com subesposição, algumas regiões podem aparecer totalmente sem contraste (= ficam totalmente pretas).
    - Regiões muito escuras tendem a ser muito contaminadas por ruído.
  - Em imagens com superexposição, o sensor pode saturar em algumas regiões (= ficam totalmente brancas).
    - A luz pode também “vazar” e deixar outras regiões muito claras (lembre-se do efeito *bloom*).

Problema: alcance dinâmico

- Manipular os pixels pode ajudar em certos casos, mas não é o suficiente quando os dados que queremos <u>não existem</u> na imagem capturada!
- O que fazer?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

High dynamic range

- *High dynamic range.*
  - Informalmente, significa ter mais do que 8bpp por canal.
- Solução por hardware:
  - Sensores com alcance dinâmico maior.
  - Normalmente, saídas com 12 ou mais bpp por canal.
  - Resultados “diretos”.
  - Alto custo.
- Solução por software:
  - Como?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

High dynamic range

- *High dynamic range.*
  - Informalmente, significa ter mais do que 8bpp por canal.
- Solução por hardware:
  - Sensores com alcance dinâmico maior.
  - Normalmente, saídas com 12 ou mais bpp por canal.
  - Resultados “diretos”.
  - Alto custo.
- Solução por software:
  - Capturar imagens com diferentes graus de exposição.
  - Combinar as imagens em uma saída com 12 ou mais bpp por canal.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Tone mapping

- Não é possível visualizar uma imagem HDR diretamente.
  - Nossos monitores não conseguem mostrar uma imagem com 36bpp!
- Para vermos uma imagem HDR, precisamos remapear os valores para 8bpp por canal.
  - Como?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Tone mapping

- Não é possível visualizar uma imagem HDR diretamente.
  - Nossos monitores não conseguem mostrar uma imagem com 36bpp!
- Precisamos remapear os valores para 8bpp por canal.
  - Técnicas simples, como renormalizar a imagem comprimem certas intensidades, reduzindo (ou eliminando!) o contraste.
  - Algoritmos sofisticados trabalham localmente e se baseiam na percepção humana.
- Alguns algoritmos de tone mapping geram certos artefatos:
  - Halos.
  - Cores com saturação exagerada.
- Em CG, é comum gerar as imagens com alcance dinâmico maior, ajustando a saída com algoritmos de tone mapping.
  - Inclui também simulações para o ajuste do olho ou da câmera.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HDR: como fazer

- A solução “correta” envolve estimar a luminosidade (real, física!) refletida em cada pixel.
  - Exige conhecimento sobre os parâmetros da câmera (calibração):
    - Tempo de exposição de cada foto.
    - Sensibilidade do sensor.
- Solução mais barata: estimar o valor (com mais do que 8bpp por canal!) de cada pixel com base nas alterações sofridas por cada pixel conforme aumenta o tempo de exposição.
- Solução ainda mais barata: estimar o valor da saída já remapeada (com 8bpp por canal!).
  - = “Pular” a imagem HDR e ir direto para a saída do tone mapping!
  - Cada pixel da saída é uma combinação dos pixels na entrada.

Vamos tentar fazer esta última!

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HDR: como fazer

- Como?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HDR: como fazer

•Só fazer a média de uma imagem com pouca e outra com muita exposição pode não funcionar...

HDR: como fazer

•Só fazer a média de uma imagem com pouca e outra com muita exposição pode não funcionar...

HDR: como fazer

- Como?
- Veremos “2.5” abordagens diferentes.
  - São abordagens mais simples do que aquelas usadas em softwares comerciais, mas baseadas nos mesmos princípios.

Abordagem #1

- Princípio: queremos preservar os detalhes.
  - = queremos preservar o contraste local de sub-regiões da imagem.
- Como medir o contraste local?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Abordagem #1

- Princípio: queremos preservar os detalhes.
  - = queremos preservar o contraste local de sub-regiões da imagem.
- Como medir o contraste local?
  - R: gradientes.
    - = selecionamos pixels cujas vizinhanças têm gradientes fortes.
- Como seria um algoritmo simples baseado neste princípio?

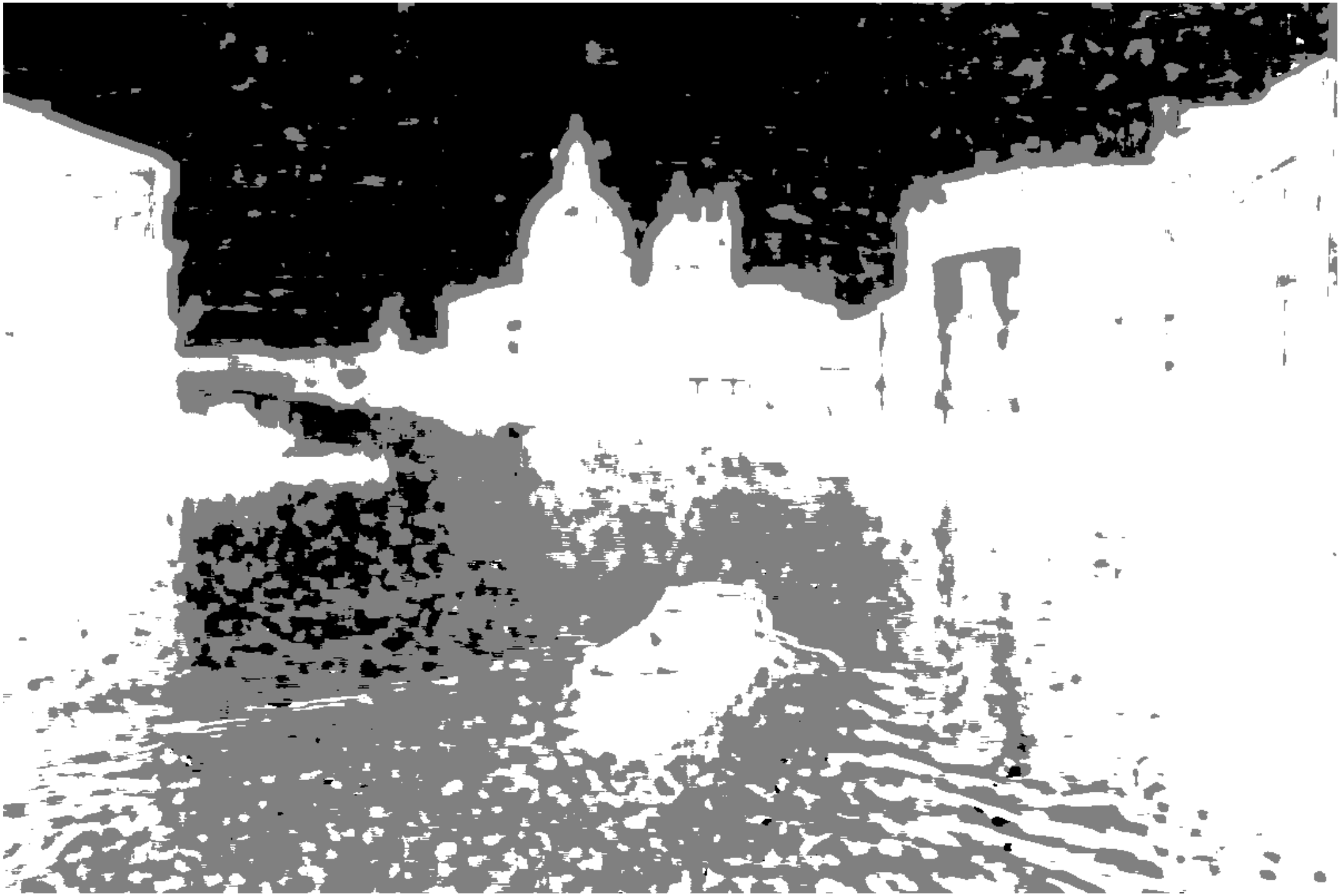
Abordagem #1: gradientes

```
Dadas n imagens de entrada:

cria uma imagem max_mag com todos os pixels em 0
cria uma imagem mapa com todos os pixels em n/2

para cada imagem i:
    computa as magnitudes dos gradientes de i
    borra a imagem contendo as magnitudes
    para cada pixel (x,y):
        se (mag(x,y) > max_mag(x,y))
            max_mag(x,y) = mag(x,y)
            mapa(x,y) = i

para cada pixel (x,y)
    g(x,y) = pixel na posição (x,y) da imagem indicada em
             mapa (x,y)
```

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo de mapa, com 4 valores (remapeados para o intervalo [0,1]).

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Fazendo alguns ajustes...

- Qual o problema?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Fazendo alguns ajustes...

- Qual o problema?
  - As transições entre as imagens são muito “agressivas”.
- Como suavizar?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Fazendo alguns ajustes...

- Qual o problema?
  - As transições entre as imagens são muito “agressivas”.
- Como suavizar?
  - Podemos borrar os mapas e interpolar duas imagens.
    - Usamos uma suavização Gaussiana com $\sigma = \min(W,H)/24$.
    - Cada pixel recebe a média ponderada dos pixels de 2 imagens.
      - Ex: se $mapa(x,y) = 2.4$; $g(x,y) = f_2(x,y)\cdot 0.6 + f_3(x,y)\cdot 0.4$.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

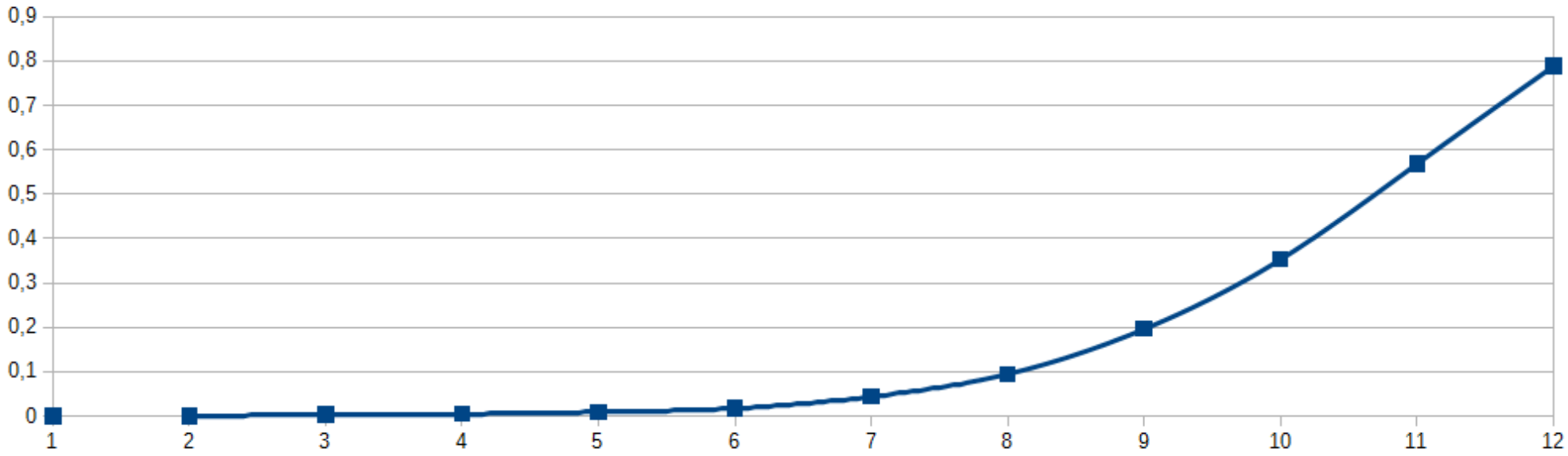
Abordagem #2

- Princípio: observar a variação na intensidade dos pixels conforme o tempo de exposição varia.
- O que acontece?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

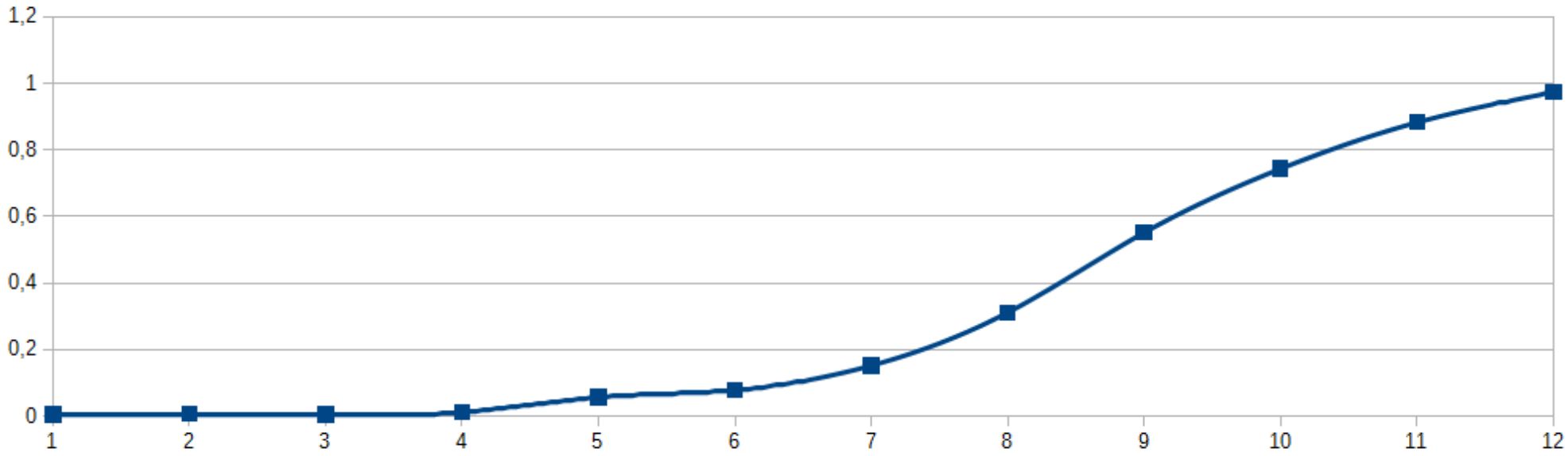
Variação de intensidade

- Exemplo: variação de um pixel em 12 exposições.



Variação de intensidade

- Exemplo: variação de outro pixel em 12 exposições.



Abordagem #2

- Princípio: observar a variação na intensidade dos pixels conforme o tempo de exposição varia.
- Como seria um algoritmo simples baseado neste princípio?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Abordagem #2: variação

```
Dadas n imagens de entrada:

para cada pixel (x,y):
    cria um vetor v com n posições
    para cada imagem i:
        coloca em v[i] o valor do pixel (x,y) na imagem i

    *** Olha para o vetor v e escolhe uma imagem ***

    mapa(x,y) = índice da imagem escolhida

(daqui para a frente, fica igual à abordagem #1)
```

Como escolher???

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Como escolher?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Como escolher?

•A intensidade tende a crescer lentamente quando a exposição é muito grande ou muito pequena.

•Para cada pixel, podemos escolher a imagem que leva à maior variação de intensidade para a próxima imagem.

- Como calcular isso?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Como escolher?

- A intensidade tende a crescer lentamente quando a exposição é muito grande ou muito pequena.
- Para cada pixel, podemos escolher a imagem que leva à maior variação de intensidade para a próxima imagem.
  - Como calcular isso?
    - R: derivadas!
    - **CUIDADO:** não são as derivadas da imagem, e sim das derivadas de uma função discreta representada pelos valores no vetor $\mathbf{v}$!

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Abordagem #2: variação

```
Dadas n imagens de entrada:

para cada pixel (x,y):
    cria um vetor v com n posições
    para cada imagem i:
        coloca em v[i] o valor do pixel (x,y) na imagem i

    para cada imagem i (menos a última)
        derivada [i] = v[i+1] - v[i]

    escolhe a posição que tiver a maior derivada

    mapa(x,y) = índice da imagem escolhida

(daqui para a frente, fica igual à abordagem #1)
```

Note que, a princípio, não precisamos nos preocupar com derivadas negativas.

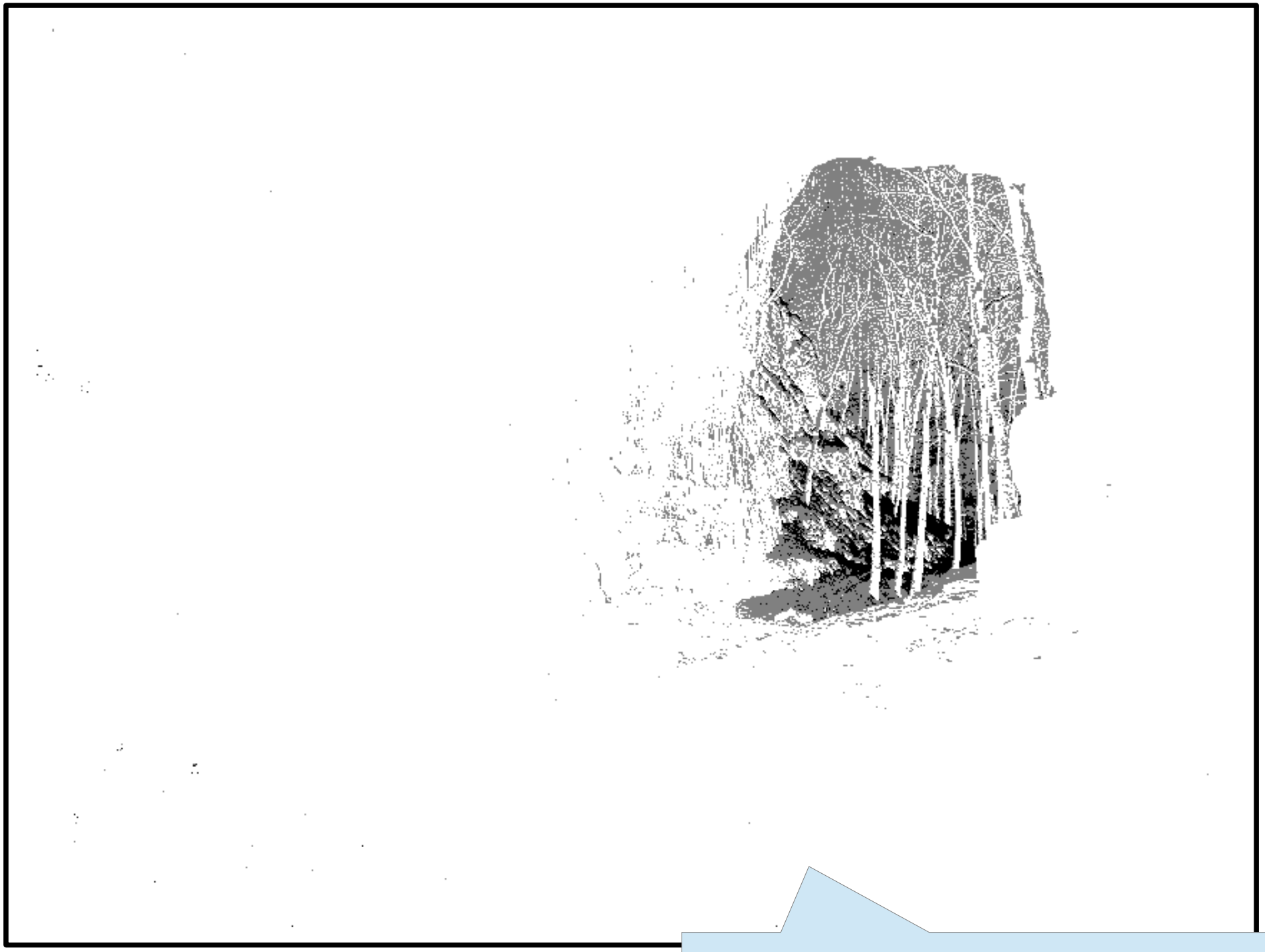
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Um pequeno ajuste...

- Como as derivadas discretas são calculadas com subtrações, a última imagem não tem derivadas associadas.
  - I.e. os valores no mapa ficam no intervalo [0,n-2].
  - Podemos remapear os valores escolhidos para o intervalo [0,n-1]:
    - `mapa(x,y) = índice / (n-2) * (n-1);`

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

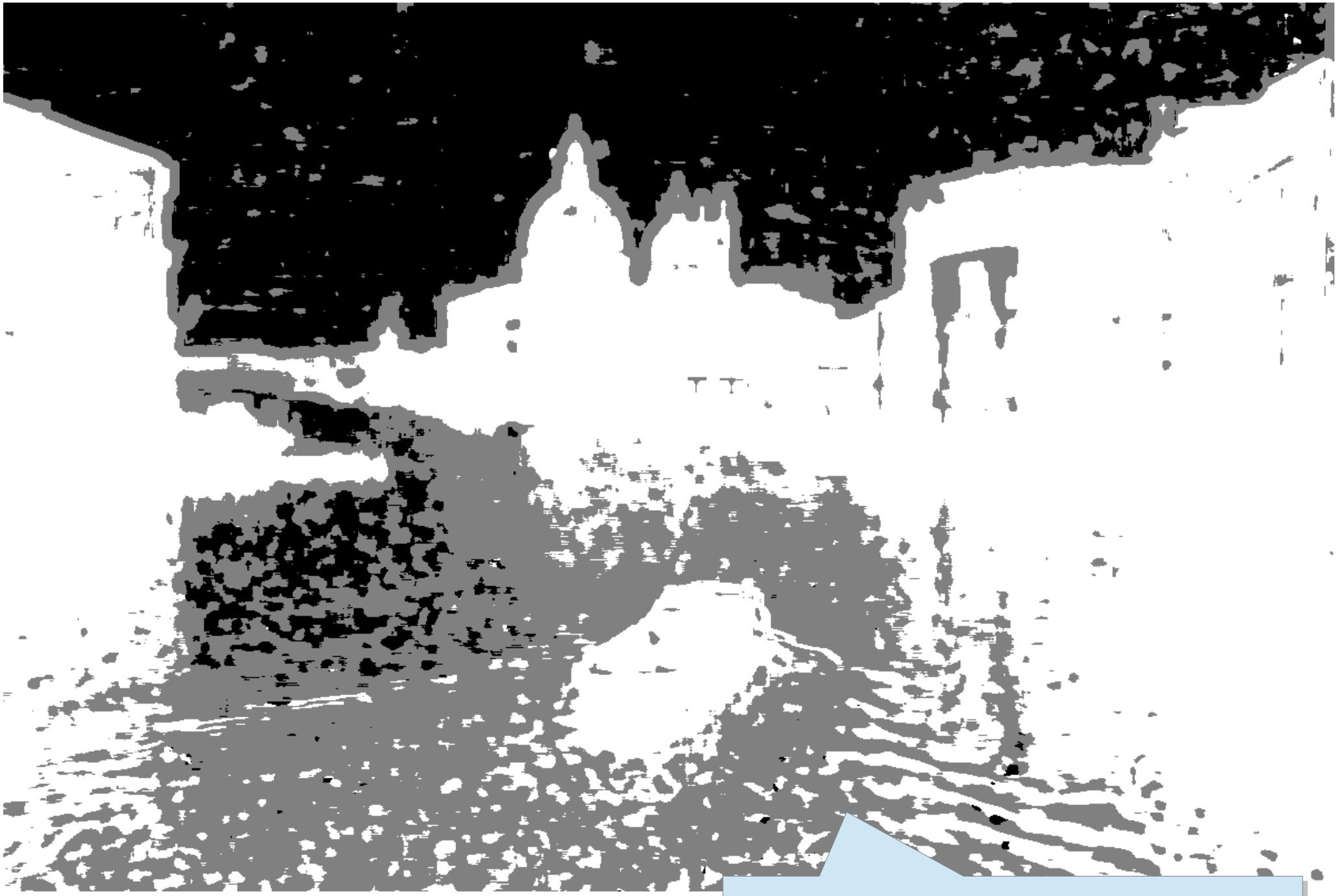
Mapa obtido pela abordagem #1.



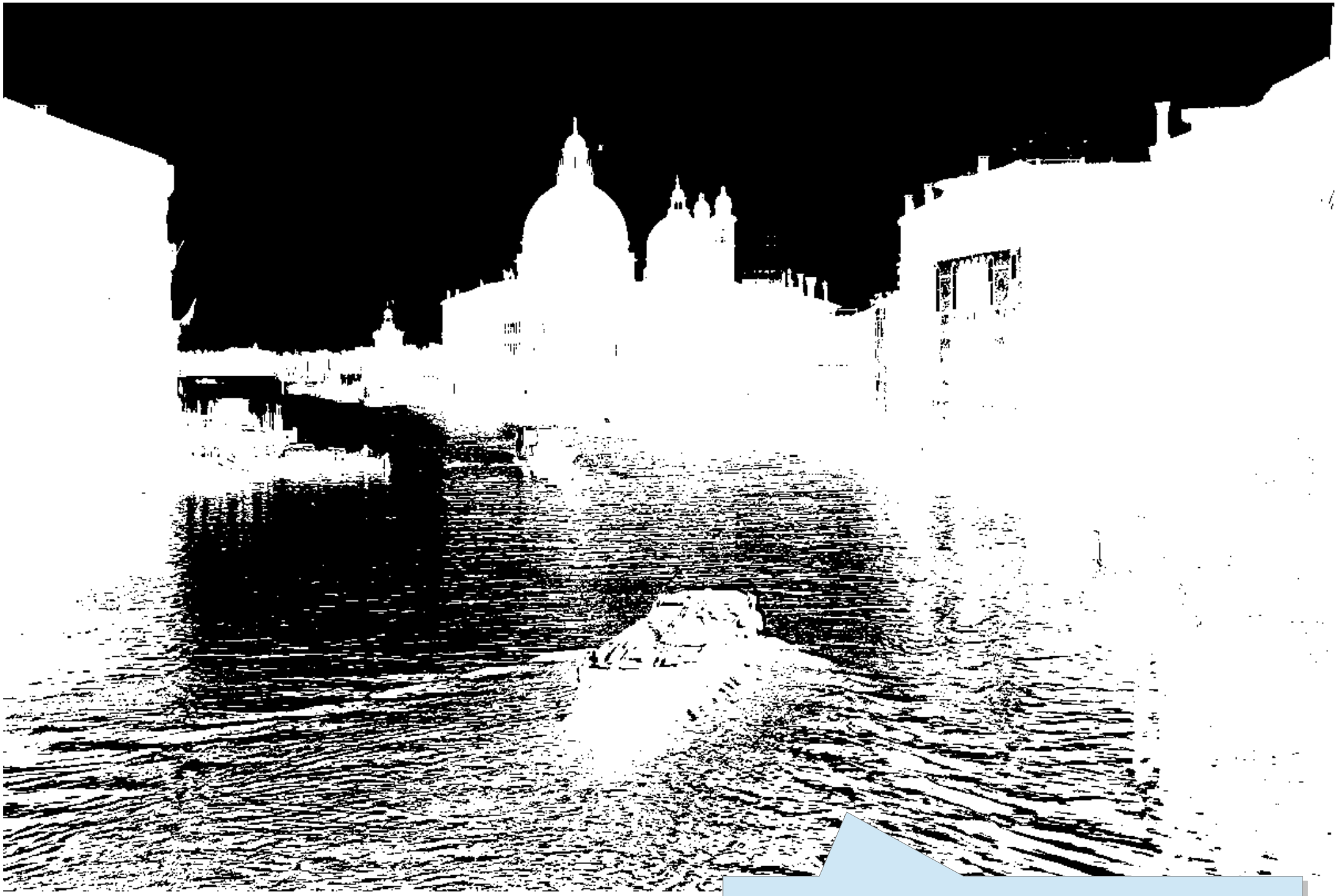
Mapa obtido pela abordagem #2.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Resultado da abordagem #1.



Mapa obtido pela abordagem #1.



Mapa obtido pela abordagem #2.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Resultado da abordagem #1.

Comparando

- As duas abordagens produzem resultados similares em vários casos, porém...
  - A abordagem #1 tende a produzir resultados bons em regiões com muitos detalhes (= gradientes fortes), mas pode “se perder” em regiões com poucos detalhes (= gradientes fracos).

Uma fotografia de um lugar...

Resultado com a abordagem #1

Resultado com a abordagem #2

Misturando

- Podemos misturar as duas abordagens:

```
Cria o mapa usando a abordagem #1
Para cada posição (x,y)
    se a magnitude média dos gradientes na janela com entro em
    (x,y) for menor que um limiar:
        usa a abordagem #2 para a posição (x,y)
```

Podemos também fazer uma média ponderada das decisões das duas abordagens: quanto mais fracos os gradientes, maior o peso dado para a decisão da abordagem #2.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Tratando do efeito “halo”

- Suavização com preservação de bordas.
  - *Edge-preserving smoothing.*
- Filtros não lineares:
  - Filtro da mediana.
  - Filtro bilateral.
    - Baseado no filtro Gaussiano.
    - Pesos dados pela distância e pela diferença entre cores.
  - Filtro guiado.
    - Ideia: tenta preservar os gradientes de uma “imagem-guia”.
    - Pense nos gradientes como “barreiras”.
    - Se a imagem guia for a própria imagem de entrada, o resultado é similar ao filtro bilateral.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo: imagem original

Exemplo: Filtro da Mediana

Exemplo: Filtro Bilateral

Exemplo: Filtro Bilateral

Exemplo: Filtro Bilateral

Exemplo: Filtro Guiado

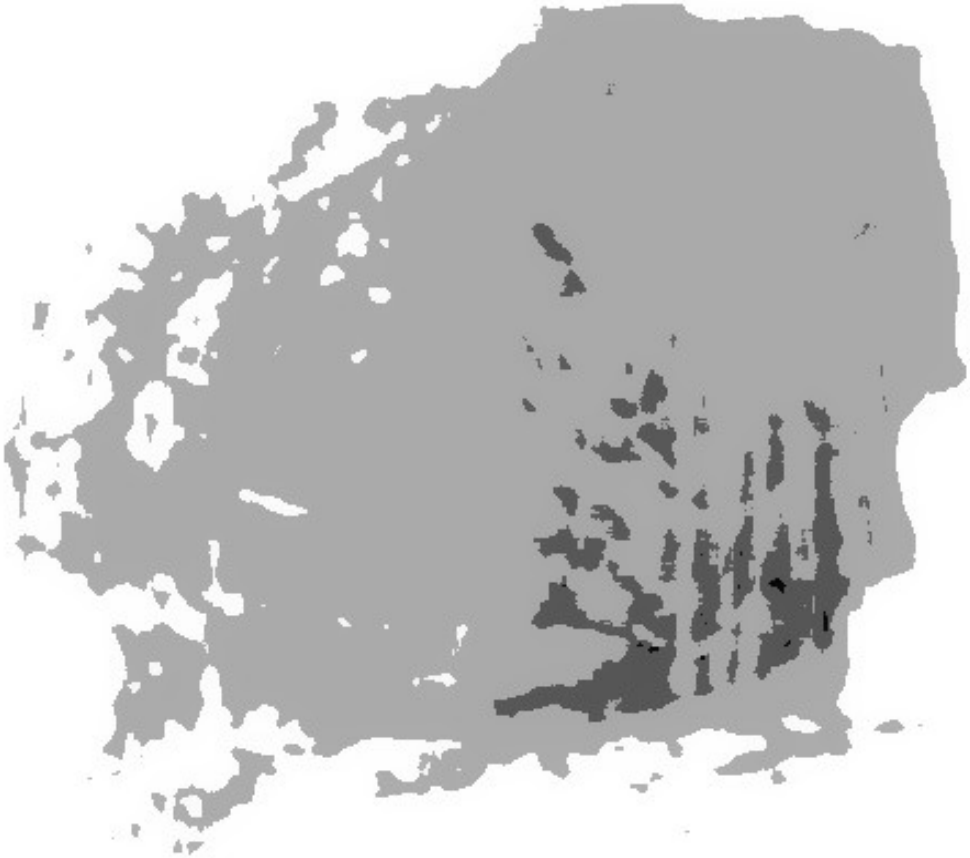
???

- Estas abordagens não funcionam se aplicadas diretamente aos mapas obtidos.
  - Tratam as fronteiras entre imagens como “barreiras”.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Mediana...

Bilateral...



Guiado...

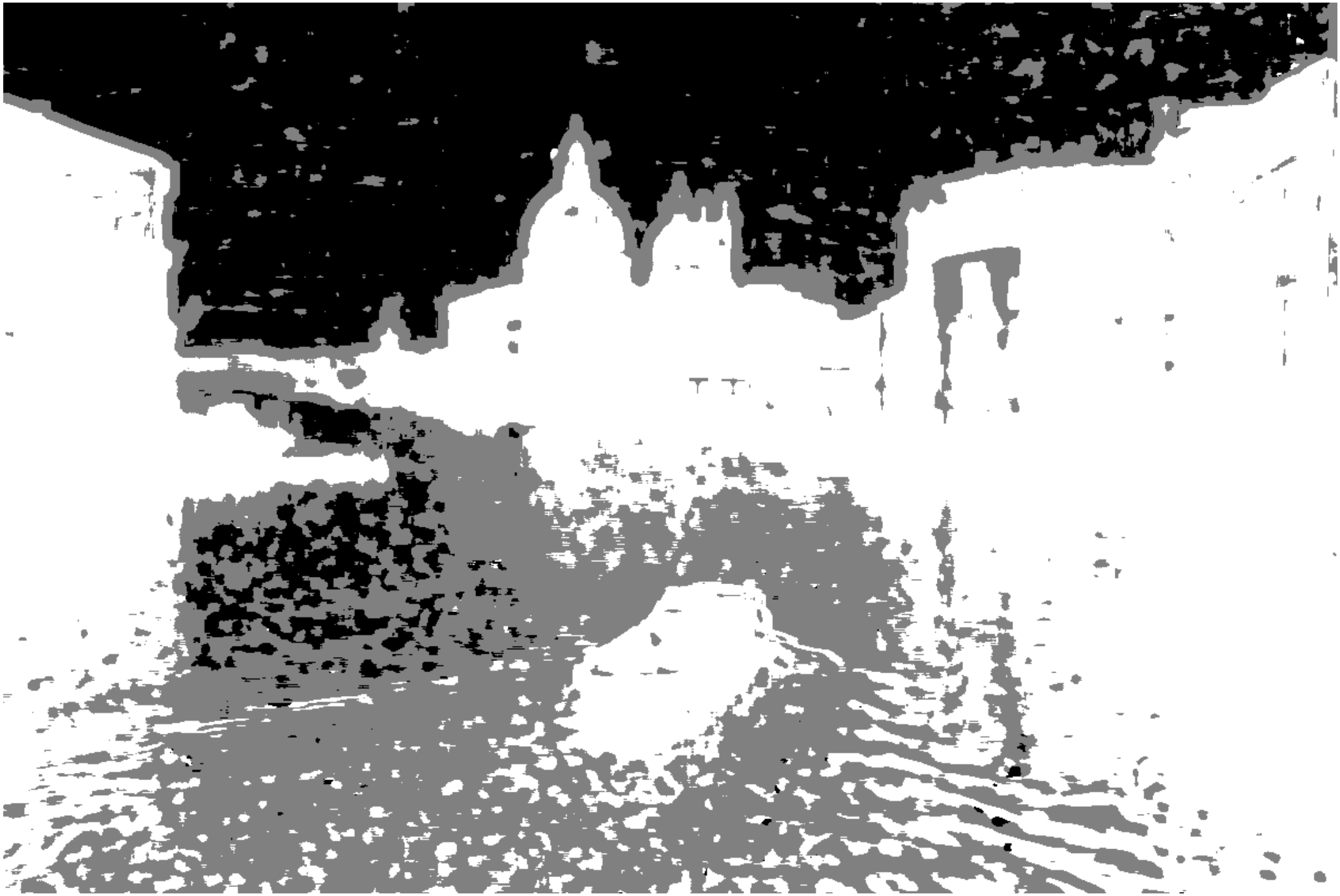
Usando o filtro guiado

- Truque: usar o filtro guiado, mas tendo como guia uma imagem que mostra todos os detalhes que queremos preservar.
  - Como obter esta imagem?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Usando o filtro guiado

- Truque: usar o filtro guiado, mas tendo como guia uma imagem que mostra todos os detalhes que queremos preservar.
  - Como obter esta imagem?
- Gerar uma imagem contendo as maiores magnitudes de gradientes observadas entre todas as imagens capturadas.



UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplos

- Vejamos alguns (vários) exemplos.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ