Universidade Estadual de Maringá

Departamento de Informática

Computação Gráfica

CG-05a-TRANSFORMAÇÕES JANELA-VIEWPORT

NOTAS DE AULA

Prof. Dr. Dante Alves Medeiros Filho

2014

1. Transformações de Visualização

Em diversas situações ao utilizarmos aplicativos gráficos é preciso visualizar uma determinada porção da imagem que observamos na tela de um computador. Para isso indicamos, usualmente, uma determinada região retangular que nos interessa e acionamos o comando para visualizá-la particularmente.

Esta operação envolve vários conceitos importantes que são trabalhados na Computação Gráfica. Por exemplo, quando visualizamos uma imagem projetada de uma cena em uma tela de computador, geralmente raciocinamos sobre as dimensões dos objetos que compõem a cena em uma determinada unidade de medida que pertence ao nosso mundo lógico, tal como a unidade metro. Os sistemas gráficos utilizam essas medidas lógicas na interface com o usuário e a cada interação precisam convertê-las para as unidades físicas do dispositivo para mostrá-las adequadamente. A figura 1 ilustra algumas etapas deste processo. O conjunto de etapas para a visualização de uma cena ou objeto em computação gráfica é comumente chamada de ***pipeline***.

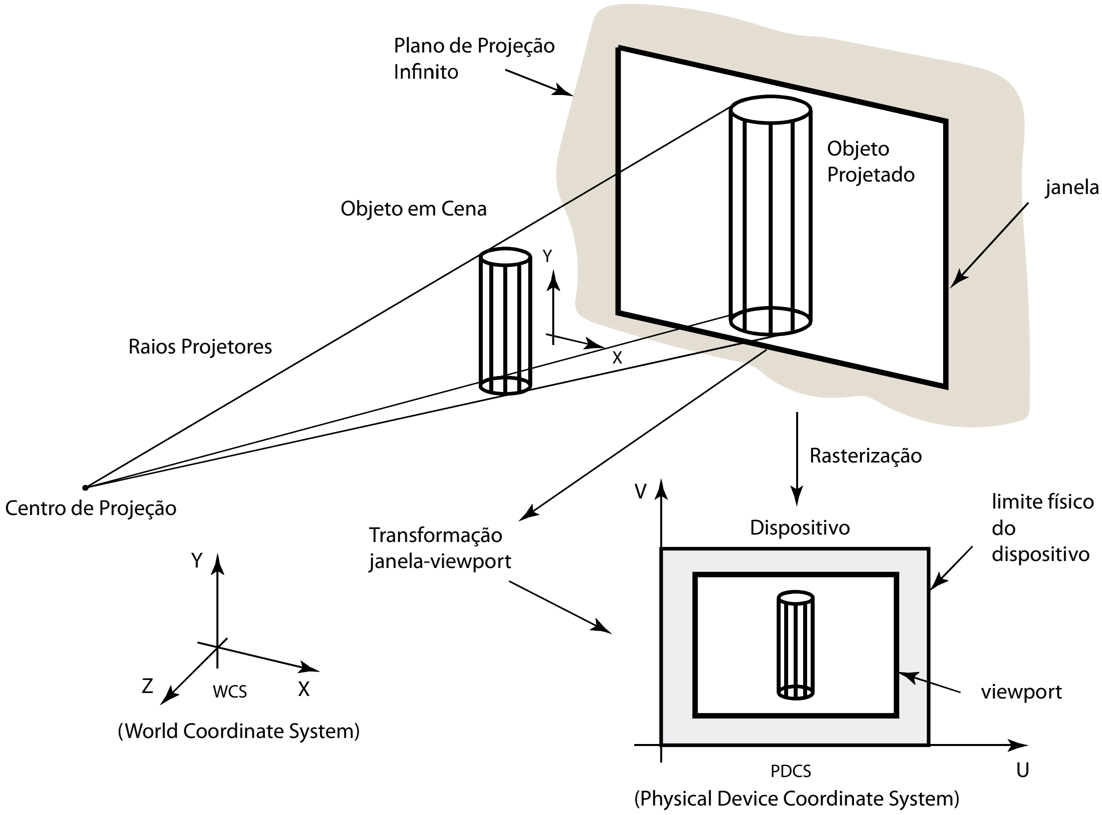

Figura 1: ***pipeline*** de visualização de uma cena 3D em um dispositivo físico

Observando a figura 1, notamos que a visualização da cena no dispositivo físico envolve o mapeamento entre espaços que são formalizados por meio de diferentes sistemas de coordenadas. Temos o espaço lógico tridimensional da cena que é a principal referência do usuário, por esta razão é denominado **espaço do mundo** e seu sistema de coordenadas de **sistemas de coordenadas universais** ou **sistemas de coordenadas do mundo**, em inglês ***World Coordinate System* (WCS)**.

No **WCS** os objetos são alocados na cena pelo usuário e projetados pelo sistema em um plano de projeção que possuí dimensões infinitas **(espaço de projeção** - **WCS)** (figura 2).

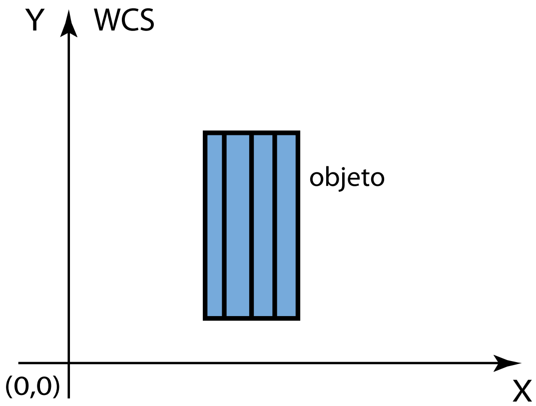

Figura 2: projeção de objetos em um plano infinito em **WCS**

Para que haja o mapeamento da imagem projetada neste plano para o dispositivo (por exemplo: tela de um monitor ou de um projetor multimídia) é necessário delimitar uma região. A área retangular especificada no **WCS** que delimita a região a ser mapeada para o dispositivo recebe o nome de **janela** (figura 3).

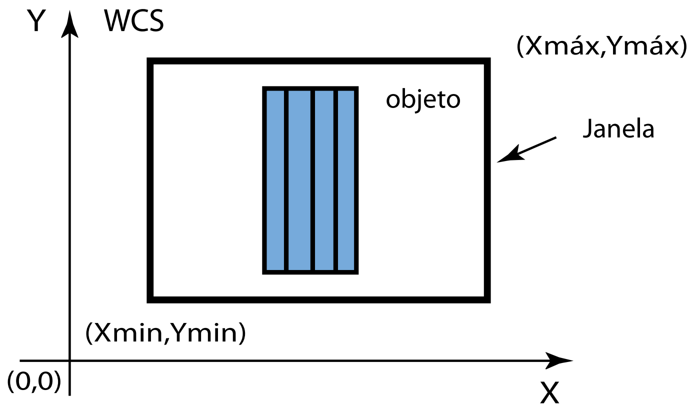

Figura 3: região do plano em **WCS** chamada **Janela**

O dispositivo por sua vez, possui seu próprio sistema de coordenadas, designado por **Sistema de Coordenadas do Dispositivo Físico** (***Physical Device Coordinate System – PDCS***). A área especificada no dispositivo que recebe o mapeamento das informações gráficas provindas da **janela** é chamada de ***viewport***, (figura 4).

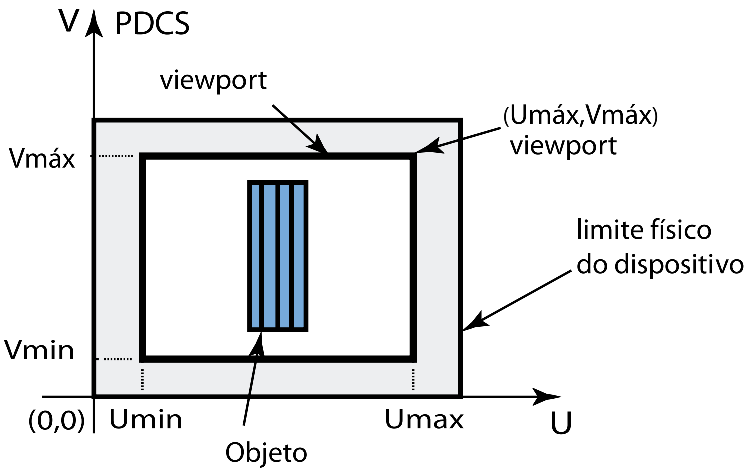

Figura 4: ***Viewport*** é a região do dispositivo que recebe o mapeamento provindo da **Janela**

Temos que mapear as informações gráficas contidas na **janela** para o dispositivo, ou seja, fazer um mapeamento entre a **janela** especificada em coordenadas do mundo e a ***viewport*** especificada em coordenadas do dispositivo (Figura 5).

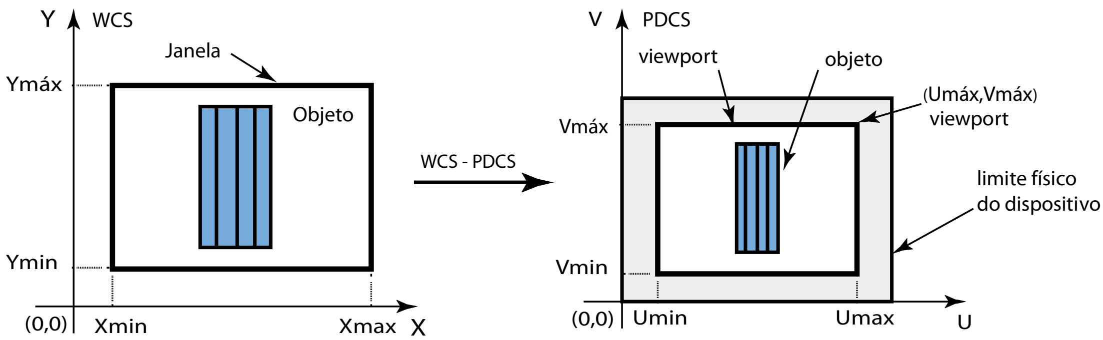

Figura 5: mapeamento **Janela-Viewport WCS-PSCS**

O mapeamento das informações gráficas contidas no **espaço do mundo** expressas **WCS** em um espaço referente ao dispositivo pode ser feito com as seguintes etapas:

- **Etapa-01:** Translação da **janela** para a origem do **Sistema de Coordenadas do Mundo** – **WCS** (Figura 6). Este procedimento é realizado em **WCS** com resultado em **WCS**.

Algebricamente temos:

$$T(-x_{min}, -y_{min}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_{min} \\ 0 & 1 & -y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

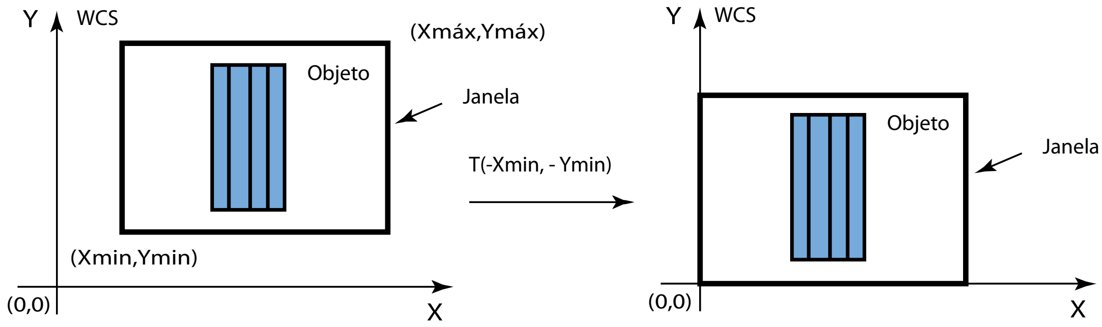

Figura 6: translação da **Janela** para a origem do **WCS-WCS**

- **Etapa-02:** Mudança de escala para enquadrar a **janela** expressa no **WCS** no espaço do dispositivo (Figura 7). Como este enquadramento é feito entre áreas retangulares, pode ser expresso por meio de suas proporções na direção x e y, da seguinte forma:

$$S(s_x, s_y) = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$s_x = \frac{u_{máx} - u_{min}}{x_{máx} - x_{min}}$$

$$s_y = \frac{v_{máx} - v_{min}}{y_{máx} - y_{min}}$$

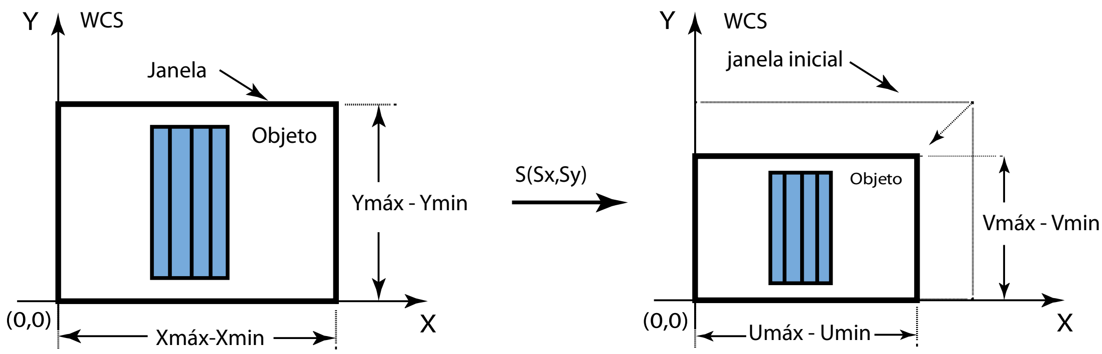

Figura 7: mudança de escala em **WCS-WCS**

Observe que este procedimento de mudança de escala é realizado no espaço do mundo, portanto em ***world coordenate system*** **(WCS)**.

- **Etapa-03:** Translação para (u_{min}, v_{min}) no sistema de coordenadas do dispositivo (figura 8). Este procedimento leva informações gráficas de WCS para PDCS;

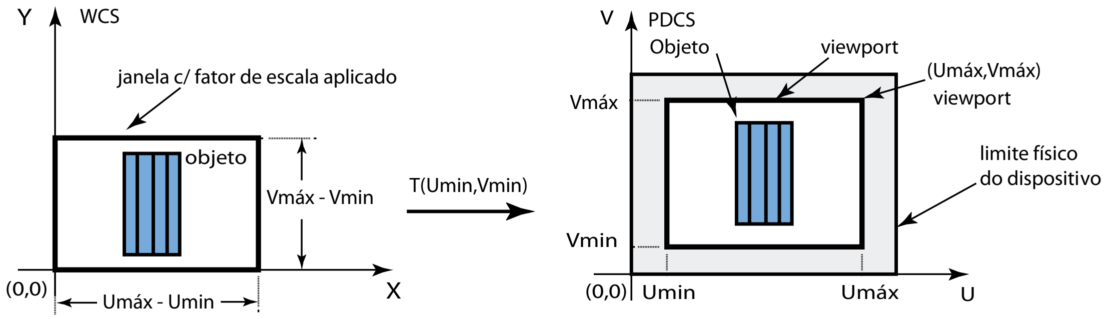

Figura 8: translação em coordenadas do dispositivo **(WCS-PDSC)**

Algebricamente:

$$T(u_{min}, v_{min}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & u_{min} \\ 0 & 1 & v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Agrupando estas transformações temos:

$$T_{jv} = trasformação\ Janela - viewport$$

$$T_{jv} = T(u_{min}, v_{min}) \,.\, S(s_x, s_y) \,.\, T(-x_{min}, -y_{min})$$

$$T_{jv} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & u_{min} \\ 0 & 1 & v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_{min} \\ 0 & 1 & -y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{jv} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & -x_{min}\, s_x + u_{min} \\ 0 & s_y & -y_{min}\, S_y + v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Assim, um ponto com coordenadas do mundo (x, y, z), pode ser mapeado para o espaço do dispositivo da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & -x_{min}\, s_x + u_{min} \\ 0 & s_y & -y_{min}\, S_y + v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x - x_{\min}).\, s_x + u_{min} \\ (y - y_{min}).\, S_y + v_{min} \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.1 Sistemas Normalizados

O procedimento que leva as informações gráficas especificadas no sistema de coordenadas universais ou do mundo para o sistema de coordenadas do dispositivo é chamado de **transformação janela-viewport**. O conjunto de transformações que caracterizam esta operação é conhecido pelo termo de **transformações de visualização** e envolve vários sistemas de coordenadas. Além disso, podemos ter diversos dispositivos com resoluções diferentes. Assim, torna-se eficiente, antes de realizar o mapeamento diretamente para o um determinado dispositivo, seja feito um mapeamento para um **espaço normalizado**, para depois ser enviado aos dispositivos (figura 9). Este espaço por sua vez, possui como característica valores de abscissas e ordenadas que vão de 0 a 1 e é conhecido como Sistema de Coordenadas Normalizadas do Dispositivo **(*Normalized Device Coordinate System* – NDCS)**.

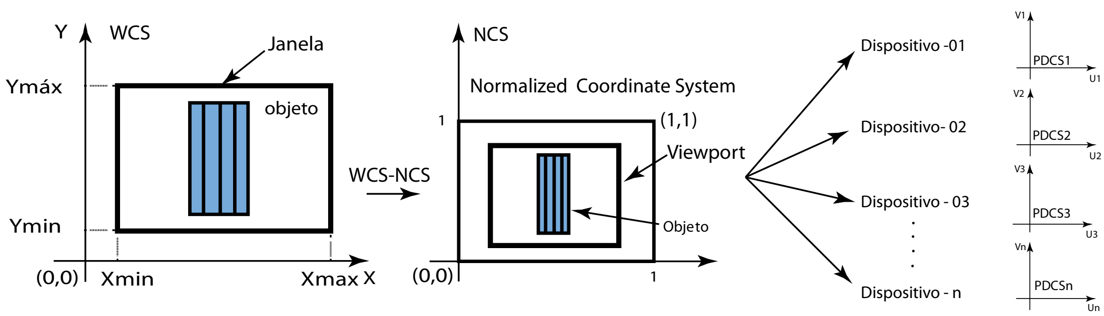

Figura 9: transformação **Janela–viewport** com um sistema normalizado e vários dispositivos físicos

Temos agora os seguintes sistemas de coordenadas:

- **WCS - *World Coordinate System***: atua no espaço universal ou do mundo. Geralmente os modelos/objetos que integram uma cena são descritos por meio de um sistema de coordenadas que seja facilmente assimilado pelo usuário. Este sistema é conhecido como **sistema de coordenadas universais** ou **sistema de coordenadas do mundo**, em inglês ***World Coordinate System*** **(WCS)**. Este sistema possui dimensões infinitas. Assim, para fazermos o mapeamento deste espaço para outro é necessária a definição de uma **janela;**

- **NDCS – *Normalized Device Coordinate System*:** – atua em um espaço lógico retangular com o canto inferior esquerdo situado na origem do sistema de coordenadas. O sistema representa um dispositivo lógico padronizado com abscissas e ordenadas entre 0 e 1 (figura10). A sub-região deste espaço determinada para receber as informações gráficas da **janela** se chama ***viewport***

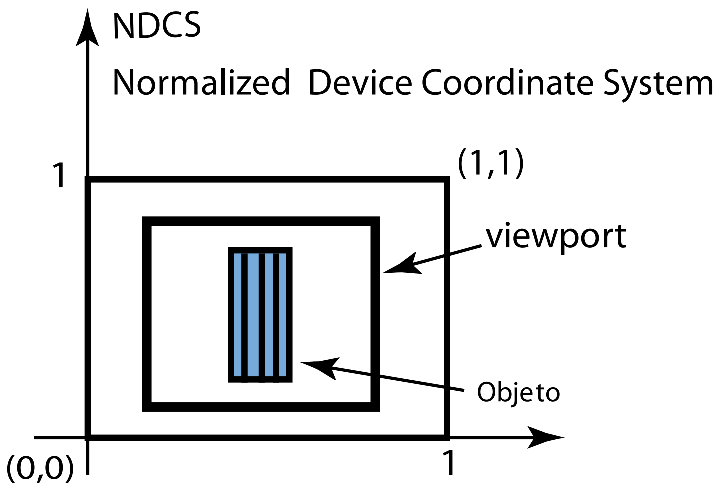

Figura 10: sistema de coordenadas normalizadas

- **PDCS – *Physical Device Coordinate System*:** atua no espaço do dispositivo. Este sistema representa o dispositivo e suas características físicas (figura3).

1.2 Transformações de Visualização e de *Workstation*

A **Transformação de Visualização** mapeia coordenadas entre estes espaços e seus respectivos sistemas de representação. Ela envolve **Transformações de Normalização** e de ***WorkStation*** (figura 11).

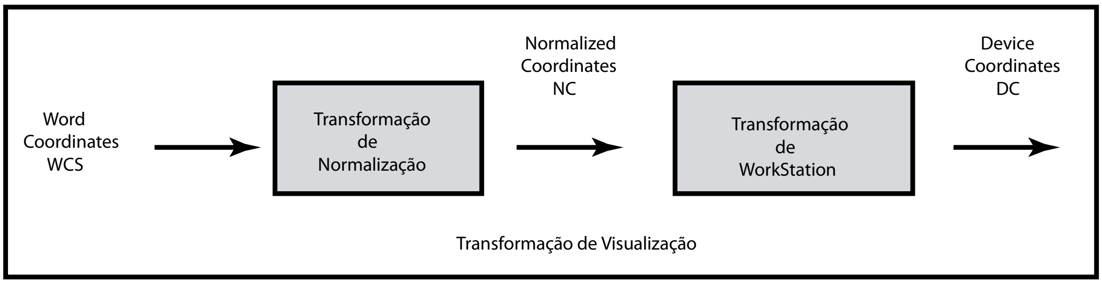

Figura 11: transformação de visualização

Podemos agora, destacas as seguintes transformações:

- **Transformações de Visualização:** conhecidas em inglês como ***Viewing Transformation*** é conjunto de transformações necessárias para levar as informações gráficas de uma **janela** para o ***viewport***, envolve **transformações de normalização** e **transformações de *workstation***;

- **Transformação de Normalização:** conhecida em inglês como ***Normalization Transformation*** é a transformação que leva as informações gráficas de uma **Janela** em **WCS** para um espaço normalizado em que as coordenadas das abscissas e das ordenadas variam de 0 a 1;

- **Transformações de *WorkStation*:** é o conjunto de transformações que levam as informações gráficas de um espaço normalizado para a representação do espaço físico do dispositivo. Este conjunto geralmente integra transformações de translação e escala (figura 12).

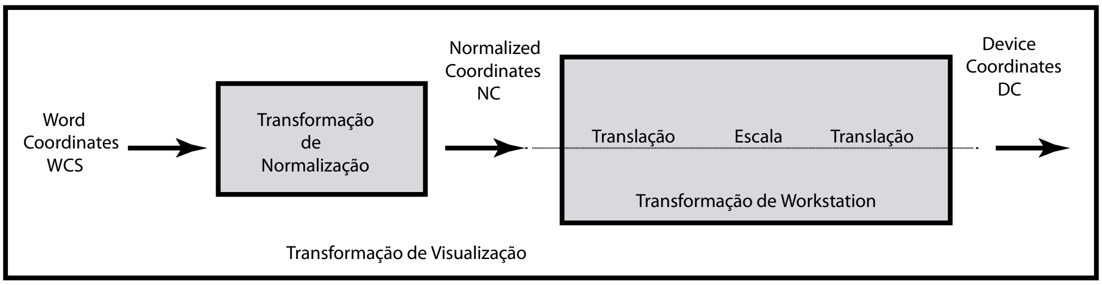

Figura 12: detalhe da transformação de ***WorkStation***

1.3 Um Exemplo Prático

Para ilustrar a utilização de transformações de visualização **janela-viewport**, vamos considerar que temos um objeto projetado em um plano em coordenadas universais e vamos mapeá-lo para coordenadas de um dispositivo, neste exemplo um monitor de vídeo. O objeto projetado no plano é mostrado na figura 13.

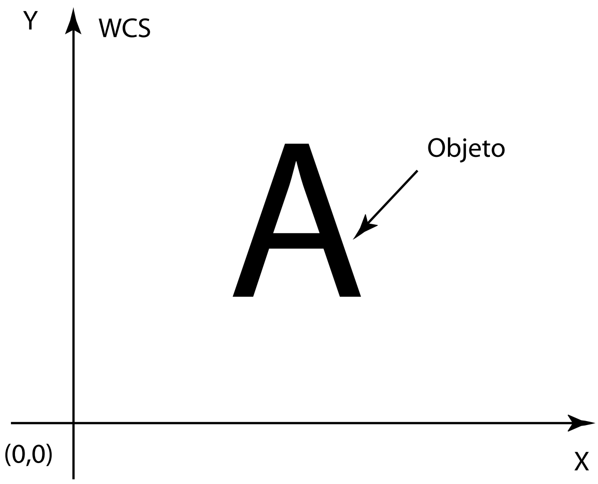

Figura 13: imagem descrita em coordenadas do mundo em um plano com dimensões infinitas

Temos então que definir a **janela** e o ***viewport***. Para início do dimensionamento da **janela** podemos calcular os valores mínimos e máximos obtidos com a projeção do objeto no plano, como ilustra a figura 14.

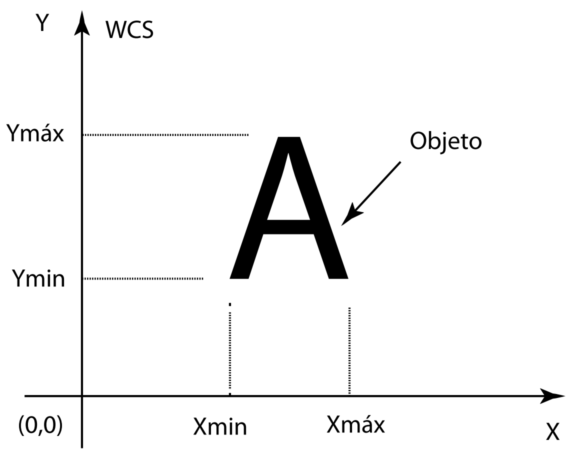

Figura 14: limites da imagem em coordenadas do mundo

Temos que considerar que a **janela** envolve a projeção do objeto. Assim, uma janela pode ser construída pelo usuário ao determinar com o mouse a região da tela que deseja ampliar ou como vamos mostrar, no caso de uma simples projeção, construir uma janela a partir dos limites da imagem projetada, neste exemplo, sem a definição do usuário.

Para tal, de forma simplificada podemos criar a janela considerando uma ampliação dos limites da imagem. Por exemplo: ampliação de 20% nos limites horizontais $(x_{máx} - x_{min})$ e de 20% nos limites verticais $(y_{máx} - y_{min})$ para criar uma **janela**.

Observe a figura 15. Os limites considerados mínimos e máximos são agora os da **janela** e não os limites do objeto, ou seja:

$$x_{min} = x_{min} - 0{,}20.\,|x_{máx} - x_{min}|$$
$$x_{máx} = x_{máx} + 0{,}20.\,|x_{máx} - x_{min}|$$
$$y_{min} = y_{min} - 0{,}20.\,|y_{máx} - y_{min}|$$
$$y_{máx} = y_{máx} + 0{,}20.\,|y_{máx} - y_{min}|$$

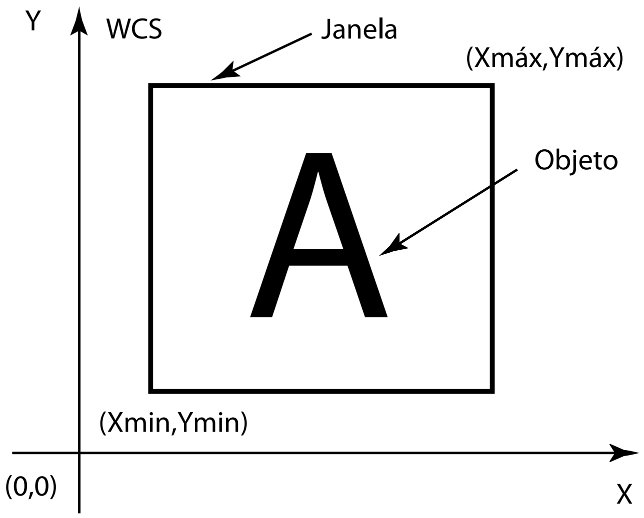

Figura 15: determinação de uma **Janela** por meio dos limites da imagem de um objeto

Temos ainda que considerar o sistema de coordenadas do dispositivo, pois, o sentido positivo das ordenadas é invertido, como mostrado na figura 16 a seguir:

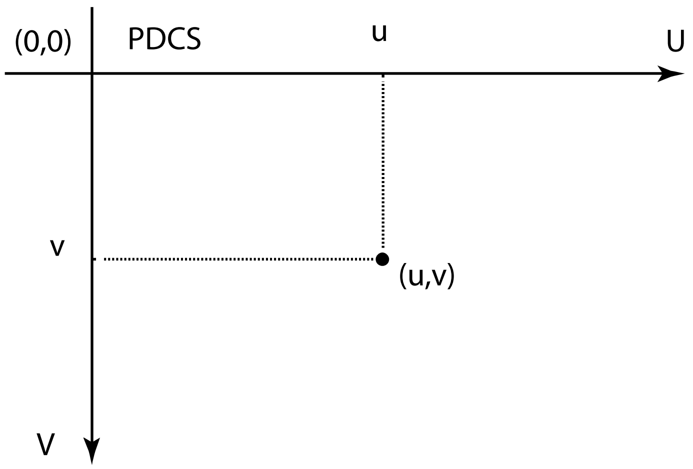

Figura 16: orientação dos eixos de um sistema de coordenadas do dispositivo

Se simplesmente fizermos a transformação **janela-viewport** sem considerar esta questão teremos o desenho mostrado de forma espelhada em relação ao eixo das abscissas, como segue (figura 17):

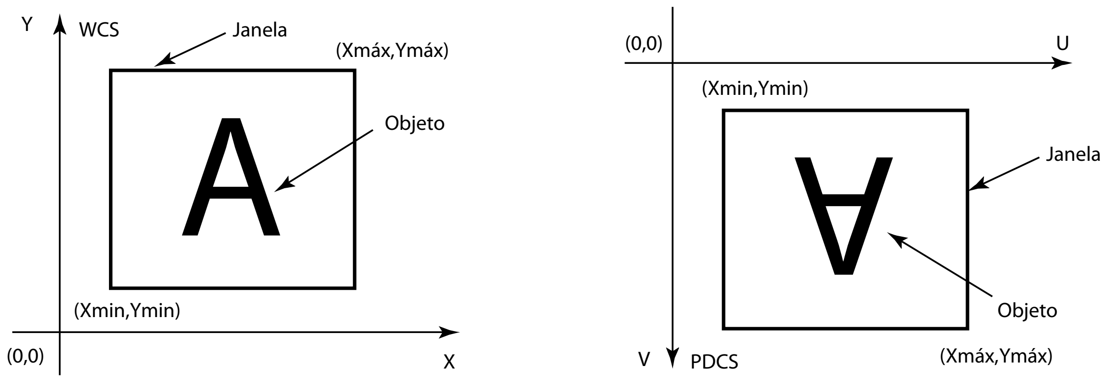

Figura 17: transformação **janela-viewport** sem considerar a orientação do sistema de coordenadas do dispositivo

Para evitar este problema podemos inicialmente fazer uma reflexão para espelhar a projeção (isto levará a imagem ao quarto quadrante, Figura 18a) e em seguida uma translação para retornar a figura ao primeiro quadrante, figura18b. Como resultado, temos a figura 18c.

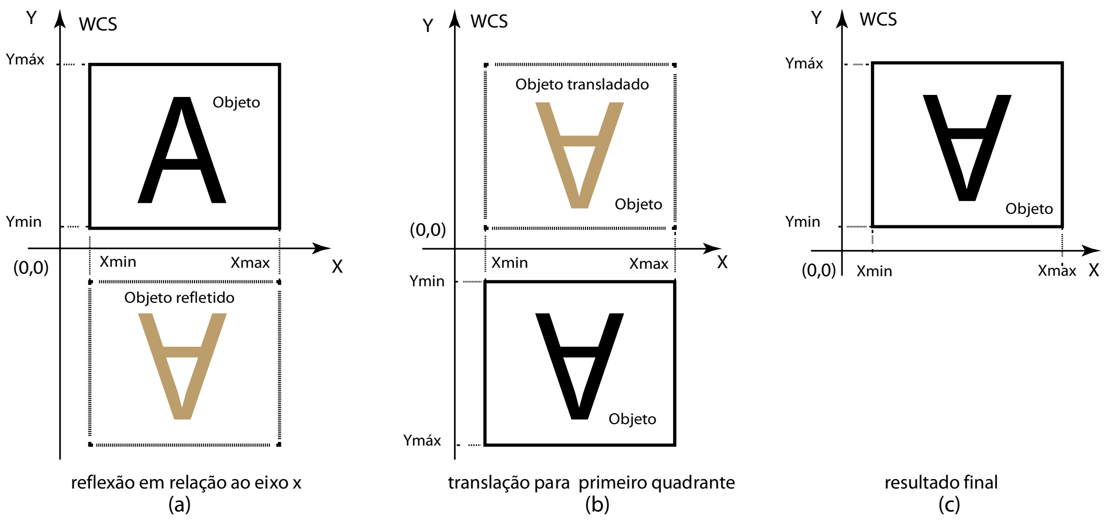

Figura 18: conjunto de transformações para compatibilizar sistemas de coordenadas da **janela** e ***viewport***

Com essas transformações temos a figura invertida (figura 16-c de cabeça para baixo no primeiro quadrante), porém, quando for aplicada a transformação **janela-viewport** o objeto será mostrado corretamente no dispositivo (figura19).

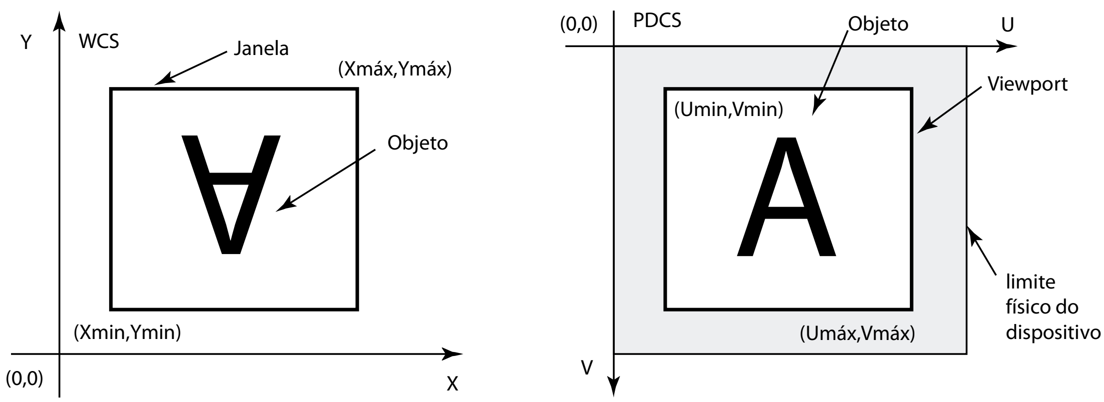

Figura 19: transformação **janela-viewport** levando em consideração a orientação do sistema de coordenadas do dispositivo

A sequência de transformações seria a seguinte:

- espelhamento em relação ao eixo das abscissas: M_x;
- translação para a origem da **janela:** $T(-x_{min}, -y_{min})$;
- transformação de escala: $S(S_x, S_y)$;
- translação no ***viewport***: $T(-x_{min}, -y_{min})$.

$$T_{janela\ -viewport} = T(u_{min}, v_{min}).S(S_x, S_y).T(-x_{min}, -y_{min}).M_x$$

A matriz de espelhamento é a seguinte:

$$M_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A matriz de translação

$$T_{(-xmin\ ,-ymin\ )} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_{min} \\ 0 & -1 & -y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_{(sx,sy)} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cálculo de S_x e S_y :

$$S_x = \frac{(U_{max} - U_{min})}{(x_{max} - x_{min})}$$

$$S_y = \frac{(V_{max} - V_{min})}{(y_{max} - y_{min})}$$

Translação para $T_{(umin\ ,vmin\ )}$

$$T_{(umin\ ,vmin\ )} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & u_{min} \\ 0 & 1 & v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Juntando tudo temos:

$$T_{janela\ -viewport} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & u_{min} \\ 0 & 1 & v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_{min} \\ 0 & -1 & -y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{janela\ -viewport} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & -S_x x_{min} \\ 0 & -S_y & -S_y y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.3.1 Mantendo o Aspecto Ratio

A solução acima desenvolvida mapeia uma **janela** para uma ***viewport***. Esta solução não leva em conta possíveis distorções que possam ocorrer na imagem mapeada devido à diferença de proporcionalidade entre a **janela** e a ***viewport***. Tomemos o mapeamento de uma janela que contém a projeção de um cilindro para uma ***viewport*** sem a preocupação de manter a proporção inicial das medidas do objeto (figura 20).

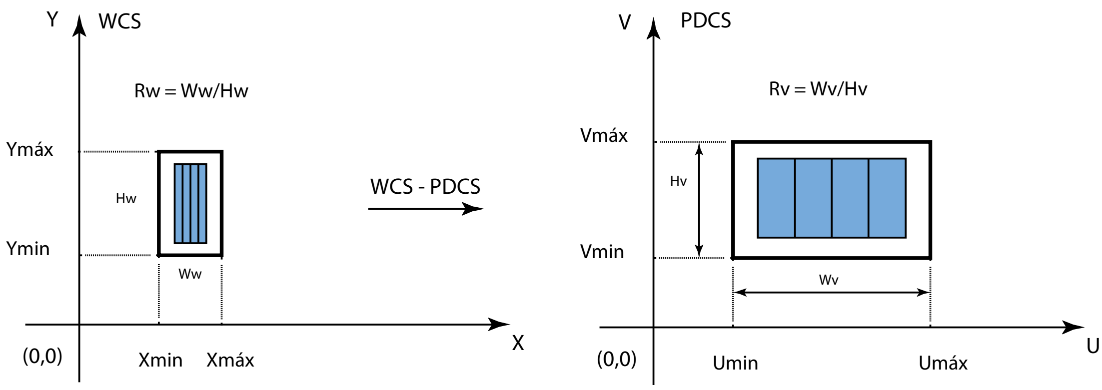

Figura 20: transformação **Janela-Viewport** sem manter proporcionalidade de medidas

Note que a imagem do cilindro ficou distorcida, com medidas desproporcionais a imagem inicial. Esta anomalia pode ser evitada comparando-se a **razão de aspecto**, conhecida pelo termo em inglês de ***aspect ratio*** da **janela** com a da ***viewport***. Com a comparação, é possível determinar se a conservação da proporcionalidade será orientada pela largura ou pela altura da **janela**.

O ***aspect ratio*** de uma **janela** ou de uma ***viewport*** pode ser calculado pela razão entre a sua largura e a sua altura. Assim, podemos definir os ***aspect ratio*** da **Janela** e da ***viewport*** como sendo:

$$Aspecto\ Ratio\ da\ Janela\ = R_w = \frac{W_w(largura\ da\ janela)}{H_w(altura\ da\ janela)}$$

$$Aspecto\ Ratio\ da\ Viewport\ = R_v = \frac{W_v\ (largura\ da\ viewport)}{H_v(altura\ da\ viewport)}$$

Se $R_w \neq R_v$ teremos distorção nos objetos quando apresentados na ***viewport***. No entanto é possível eliminar este problema mantendo o ***aspect ratio*** da **janela** na ***viewport***. Neste procedimento duas situações podem ocorrer. O ***aspect ratio*** da janela pode ser maior ou menor do que o da ***viewport***.

1.3.1.1 Mantendo a Proporcionalidade pela Largura da Janela $\mathbf{R_w > R_v}$

Caso a **razão de aspecto** da **janela** seja maior do que a **razão de aspecto** da ***viewport*** $(R_w > R_v)$ o ajuste da proporcionalidade será feito pela largura da **janela** conforme mostra a figura 21.

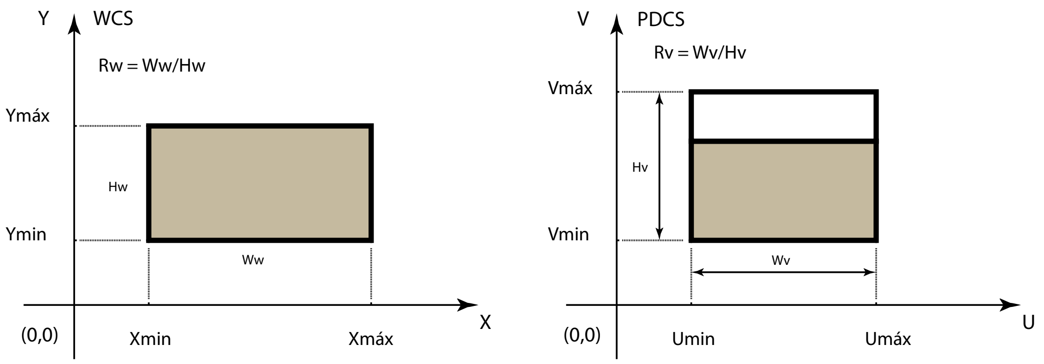

Figura 21: transformação **Janela-Viewport** mantendo proporcionalidade pela largura da **Janela**

A razão de aspecto da **janela** e da ***viewport*** podem ser calculadas pelos seus valores máximos e mínimos, pois, R_w e R_v nada mais são que:

$$R_w = \frac{(x_{máx} - x_{min})}{(y_{máx} - y_{min})}$$

e

$$R_v = \frac{(u_{máx} - u_{min})}{(v_{máx} - v_{min})}$$

Para termos proporcionalidade $R_w = R_v = R$ o que exige o cálculo de um novo $v_{máx}$, da seguinte forma (figura 22):

$$R = \frac{(x_{máx} - x_{min})}{(y_{máx} - y_{min})} = \frac{(u_{máx} - u_{min})}{(\boldsymbol{v_{máxnovo}} - v_{min})}$$

Isolando $\boldsymbol{v_{máxnovo}}$ temos:

$$\boldsymbol{v_{máxnovo}} = \frac{(u_{máx} - u_{min})}{R} + v_{min}$$

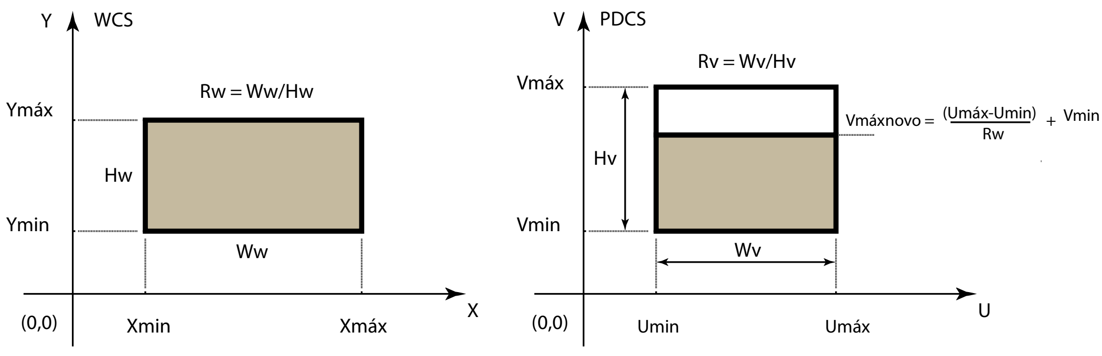

Figura 22: indicação de **novo Vmáx** para cálculo do mapeamento

A figura 22 mostra como fica o novo limite vertical para cálculo do mapeamento. Note que temos uma sobra de área na parte superior do ***viewport***.

1.3.1.2 Mantendo a Proporcionalidade pela Altura da Janela $\mathbf{R_w < R_v}$

Caso o ***aspect ratio*** da **janela** seja menor que o da ***viewport*** $(R_w < R_v)$, a proporcionalidade será ajustada pela altura, como segue (figura 23):

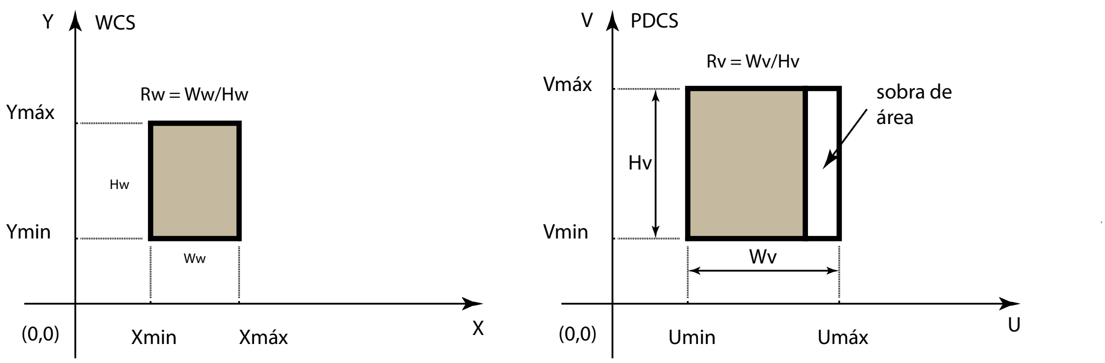

Figura 23: - transformação **Janela-Viewport** mantendo proporcionalidade pela altura da **Janela**

Neste caso, que estamos ajustando a proporcionalidade pela altura é necessário calcular o novo $u_{máxnovo}$, da seguinte maneira (figura 24):

$$R = \frac{(x_{máx} - x_{min})}{(y_{máx} - y_{min})} = \frac{(u_{máxnovo} - u_{min})}{(v_{máx} - v_{min})}$$

Isolando $u_{máxnovo}$, temos:

$$u_{máxnovo} = R(v_{máx} - v_{min}) + u_{min}$$

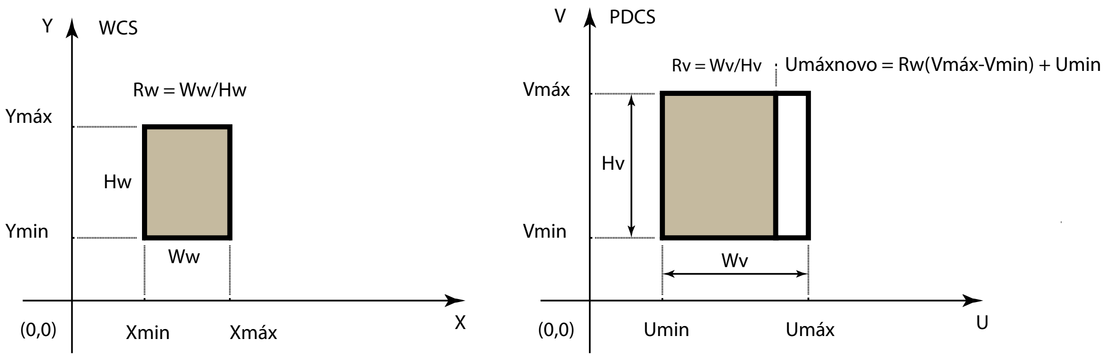

Figura 24: indicação de **novo Umáx** para cálculo do mapeamento

A figura 23 mostra como fica o novo limite horizontal do mapeamento. Note que agora temos uma sobra de área do lado direito do ***viewport***

1.3.1.3 Procedimento Sintetizado

Em síntese, para mantermos a proporcionalidade expressa pela **janela** na ***viewport*** temos que comparar R_w com R_v e dependendo do resultado, calculamos $v_{máxnovo}$ ou $u_{máxnovo}$. Podemos simplificar esta assertiva da seguinte forma (figura 25):

$$if\ R_w > R_v \quad then$$

$$v_{máxnovo} = \frac{(u_{máx} - u_{min})}{R_w} + v_{min}$$

$$else$$

$$u_{máxnovo} = R_w(v_{máx} - v_{min}) + u_{min}$$

Figura 25: pseudocódigo para cálculo de novos valores para os limites para mapeamento

1.3.2 Trazendo para o Mapeamento da Janela para o Centro do ViewPort

Os cálculos feitos até agora trazem as imagens da janela para o ***viewport*** mantendo a proporcionalidade, no entanto, ao fazerem este mapeamento não se preocupam em apresentar na ***viewport*** os objetos de forma centralizada.

Vejamos o que acontece quando tentamos mapear a imagem de um cilindro quando o $R_w > R_v$ com as soluções apresentadas até o momento (figura 26).

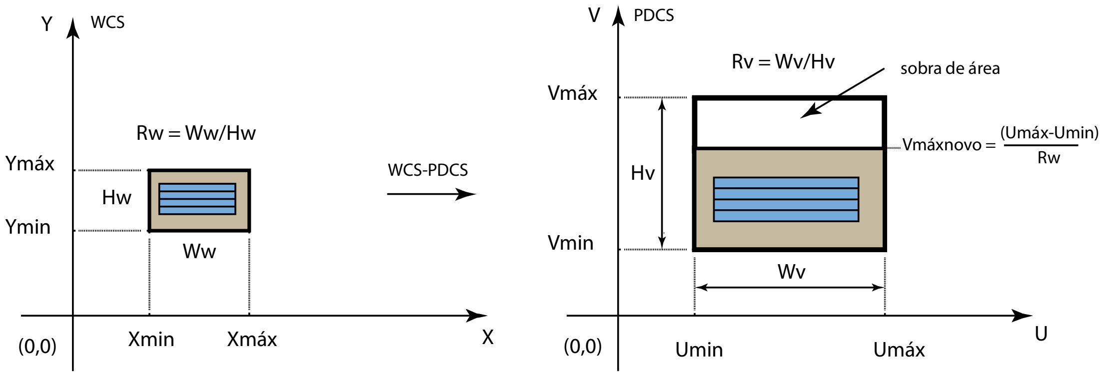

Figura 26: transformação **Janela-Viewport** - $R_w > R_v -$ com proporcionalidade, sem centralização vertical

É fácil observar que a imagem não ficou centralizada na ***viewport*** e que sobra um espaço acima dela. Seria interessante que a imagem ficasse centralizada. Para isto, basta realizarmos uma translação para o centro do ***viewpor***t. Neste caso, é necessário saber quanto (que medida) precisamos transladar para centralizarmos a imagem.

Assim, temos que para o caso em a relação de aspecto da janela for maior do que a da ***viewport*** $(R_w > R_v)$, devemos aplicar uma translação referente a metade da sobra da altura da ***viewport*** (figura 27).

$$Translação\ vertical\ para\ o\ centro\ da\ \boldsymbol{viewport}\ =\ T(0, \frac{(v_{máx} - \boldsymbol{v_{máxnovo}})}{2})$$

Matricialmente temos:

$$T_{vertical\ \ para\ \ o\ centro\ \ da\ \boldsymbol{viewport}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{(v_{máx} - \boldsymbol{v_{máxnovo}})}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Aplicando esta matriz aos resultados anteriores, tem-se:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dfrac{(v_{máx} - \color{red}{\boldsymbol{v_{máxnovo}}})}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & -s_x x_{min} \\ 0 & -s_y & -s_y y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & -s_x x_{min} \\ 0 & -s_y & -s_y y_{min} - \dfrac{v_{máx} - \color{red}{\boldsymbol{v_{máxnovo}}}}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x s_x - s_x x_{min} \\ -y s_y - s_y y_{min} - \dfrac{v_{máx} - \color{red}{\boldsymbol{v_{máxnovo}}}}{2} \\ 1 \end{bmatrix}$$

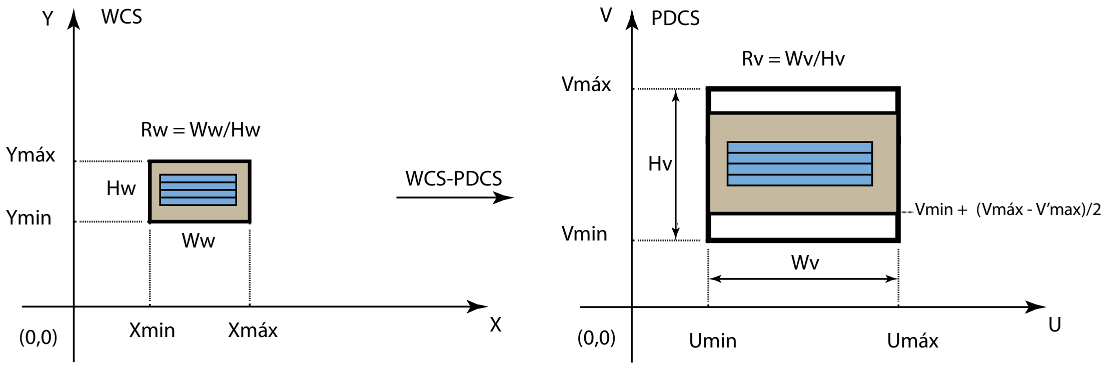

Figura 27: centralização vertical da Imagem na **viewport**

Temos ainda que verificar o caso em que a razão de aspecto da **janela** é menor do que a da ***viewport***, $R_w < R_v$ (figura 28). Neste caso a imagem na ***viewport*** precisa ser centralizada horizontalmente.

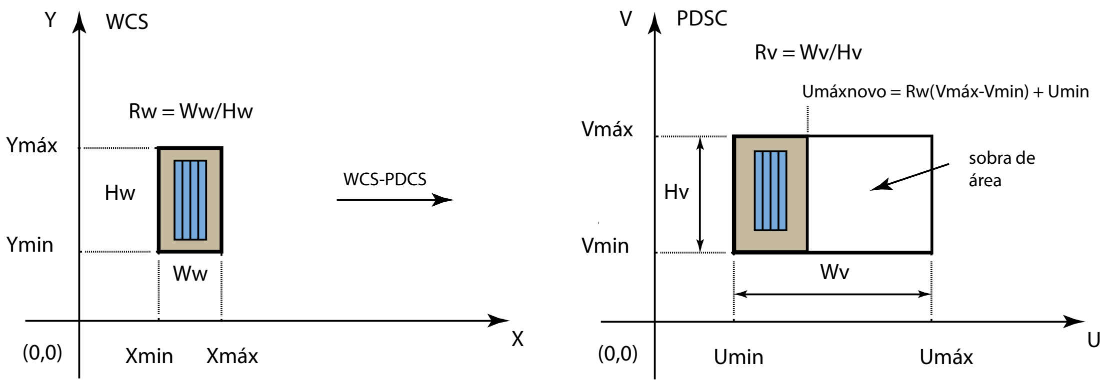

Figura 28: transformação **Janela-Viewport** - $R_w < R_v$ – com proporcionalidade sem centralização horizontal

Neste caso, para centralizarmos a imagem, aplicamos uma translação referente à metade da sobra à direita da imagem que pode ser calculada da seguinte forma (figura 29):

$$Translação\ horizontal\ p/\ o\ centro\ da\ \boldsymbol{viewport} = T\left(0, \frac{(u_{m\acute{a}x} - \boldsymbol{u_{m\acute{a}xnovo}})}{2}\right)$$

Matricialmente temos:

$$T_{horizotal\ \ para\ \ o\ centro\ \ da\ \boldsymbol{viewport}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dfrac{(u_{m\acute{a}x} - \boldsymbol{u_{m\acute{a}xnovo}})}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dfrac{(u_{m\acute{a}x} - \boldsymbol{u_{m\acute{a}xnovo}})}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & -s_x x_{min} \\ 0 & -s_y & -s_y y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & -s_x x_{min} - \dfrac{(u_{m\acute{a}x} - \boldsymbol{u_{m\acute{a}xnovo}})}{2} \\ 0 & -s_y & -s_y y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x s_x - s_x x_{min} - \dfrac{(u_{m\acute{a}x} - \boldsymbol{u_{m\acute{a}xnovo}})}{2} \\ -y s_y - s_y y_{min} \\ 1 \end{bmatrix}$$

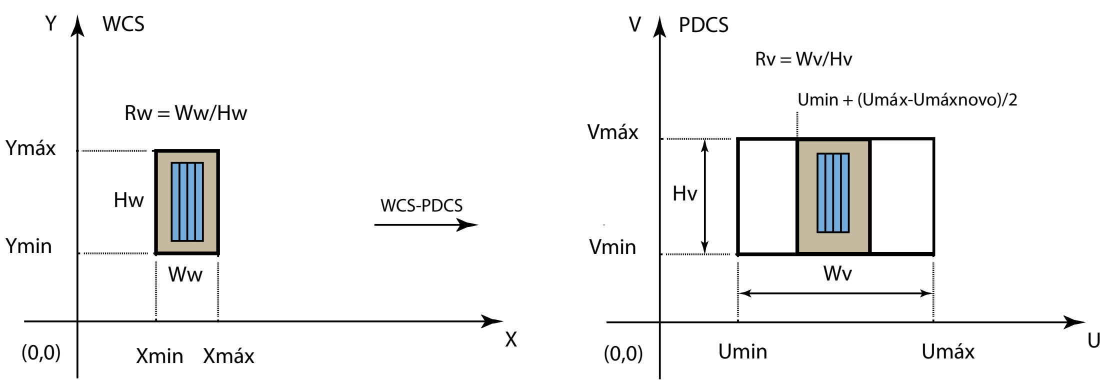

Figura 29: Centralização horizontal da Imagem na ***viewport***

1.4 Conclusões

A transformação **janela-viewport** envolve procedimentos que facilitam a visualização mais realista de imagens em dispositivos físicos. Os tópicos aqui abordados explicitam essas operações mostrando as implicações que podem ocorrer devido as características físicas reais de dispositivos de saída, visa portanto, subsidiar o leitor de forma pragmática a realizar implementações.

2. Exercicios Resolvidos

2.1 Quais os espaços trabalhados na transformação **janela-viewport**?

Resposta:

A transformação **janela-viewport** trabalha com vários espaços. Inicialmente com o espaço do mundo. Este espaço é assim denominado porque é nele que o usuário constrói a cena definindo um ponto de vista, os objetos, o plano de projeção e o tipo de projeção. A cena é formalizada por meio de um sistema de coordenadas chamado de sistema de coordenadas universais ou do mundo. Possui dimensões infinitas e recebe principalmente este nome porque utiliza unidades contínuas comuns do cotidiano de seus usuários, por exemplo, centímetros, metros, entre outros. Em inglês é conhecido como **World Coordenate System** com a sigla **WCS**. Para que as informações gráficas nele contidas sejam enviadas para o dispositivo de saída gráfica, devido as suas dimensões infinitas, faz-se necessária a delimitação de uma determinada região. Esta região é denominada no contexto da computação gráfica de **janela**.

Além deste espaço a transformação **janela-viewport** pode trabalhar com espaços normalizados para que a transformação ganhe eficiência e independência das características dos dispositivos físicos. Este espaço representa um dispositivo lógico e recebe e seu sistema de coordenadas de sistema de coordenadas normalizados do dispositivo, em inglês **Normalized Device Coordenate System (NDCS)**. Nele as coordenadas utilizadas variam de 0 a 1 nas abscissas e nas ordenadas, daí o nome de espaço normalizado. A sub-região que recebe o mapeamento da janela **(WCS)** é chamada neste espaço de **viewport (NSCS)**.

Finalmente trabalha com o espaço discreto, finito do dispositivo. Este espaço formaliza as informações gráficas de acordo com a resolução física determinada pelo dispositivo. Seu sistema de coordenadas é chamado de sistema de coordenadas do dispositivo físico, em inglês **Physical Device Coordinate System (PDCS)**. A sub-região deste espaço que recebe as informações gráficas de uma **janela (WCS)** ou de **viewport (NDCS)** é também chamada de **viewport**.

Note que o termo viewport se refere a sub-regiões que podem ser especificadas no espaço normalizado do dispositivo lógico (NDCS) ou no dispositivo físico (PDCS).

Explique o que é uma **transformação de *Workstation*!**

Resposta:

As transformações realizadas entre o espaço normalizado e o espaço do dispositivo são chamadas de transformação de **workstation**. Consistem em transformações de translação e mudança de escala para adequar as informações do espaço normalizado **(NDCS)** para o espaço do dispositivo **(PDCS)**. Inicialmente é realizada uma transformação de translação para levar a **viewport** para a origem do sistema normalizado, seguida de uma transformação de escala para adequar as informações gráficas a resolução dos dispositivos e de uma translação para posicioná-las no local desejado, no espaço do dispositivo.

Explique o que é uma **transformação de visualização**!

Resposta:

É o conjunto de transformações necessárias para o envio de informações gráficas de uma cena em um plano, quando devidamente delimitas por uma **janela**, para o espaço do dispositivo **(PDCS)**.

Em que espaços operam os comandos **ZOOM** e **PAN** ?

Resposta:

Estes comandos operam no espaço do mundo. São realizados pelo usuário para determinar uma área da tela do computador que se deseja ampliar, reduzir ou deslocar referentes à cena observada.

Qual a vantagem de se utilizar espaços normalizados?

Resposta:

O uso de espaços normalizados permite maior eficiência na transformação **janela-viewport**. O ganho de eficiência ocorre quando se tem vários dispositivos com características físicas distintas. Se as informações gráficas forem enviadas a cada um desses dispositivos, muitas operações serão duplicadas, assim, o envio prévio a um sistema normalizado, ou seja, antes de serem enviadas diretamente a um determinado dispositivo físico pode evitar duplicações de procedimentos ganhando-se eficiência.

O que é ***aspect ratio*** e onde pode ser utilizado ?

Resposta:

Este termo designa a relação entre a largura e a altura de uma imagem, **janela**, **viewport** ou dispositivo de saída gráfica. No contexto do estudo de transformações de visualização é importante porque permite verificar se a proporcionalidade da imagem inicial é ou não preservada quando mapeada de um espaço para outro. Isto é possível comparando-se as razões de aspecto **(aspect ratio)** dos espaços envolvidos. Caso sejam diferentes, o mapeamento direto de um espaço para o outro trará distorções na imagem mapeada. Estas deformações podem ser evitadas com a realização de procedimentos que visam manter a proporcionalidade da imagem inicial. Isto pode ser feito comparando-se as razões de aspecto dos espaços que pode indicar se a **razão de aspecto** da **janela** é maior ou menor que a do **viewport**. Caso a **relação de aspecto** da **janela** seja maior que a da **viewport** realiza-se um ajuste do mapeamento privilegiando a largura da **janela**, caso contrário o ajuste é feito privilegiando-se a altura da **janela**.

Porque a **janela** é importante e em que espaço atua ?

Resposta:

A janela é importante porque permite especificar em um espaço infinito uma área finita para que imagens gráficas nela contida e formalizadas no espaço do mundo possam ser visualizadas em outros espaços, tais como os normalizados e os dos dispositivos físicos.

Qual a diferença entre **janela** e ***viewport*** ?

Resposta:

A janela e a área especificada em coordenadas do mundo para a realização de um mapeamento entre este espaço para outro. **Viewport** é a área especificada em coordenadas do dispositivo, seja este lógico ou físico. Como dispositivo lógico podemos citar o espaço normalizado e como dispositivo físico a tela gráfica dos monitores.

O que significa o termo ***workstation*** no contexto da **computação gráfica** ?

Resposta:

O termo **workstation** pode causa alguma confusão. Em um contexto mais amplo da **ciência da computação** este termo é muitas vezes empregue para se referir a uma máquina compacta, com teclado, monitor e mouse que geralmente se destina a um único usuário. No entando, no contexto da computação gráfica, graças a norma **PHIGS (Programmer's**

Hierarchical Interactive Graphics System) este termo é utilizado para designar a qualquer combinação de hardware e software que forneça saída ou entrada gráfica.

Determine a transformação de visualização que mapeie uma janela com coordenadas de seu canto inferior de (5,5) e do canto superior (10,10) para um dispositivo com coordenadas com resolução de 640 x 480 pixels.

Resposta:

$$T_{visualiza\ ção} = T(0,0)\ .\ S(Sx, Sy)\ .\ T(-5,-5)$$

$$T(-5,-5) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -5 \\ 0 & 1 & -5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Sx = \frac{u_{max} - u_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

$$Sy = \frac{v_{max} - v_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

$$S_x = \frac{640 - 0}{10 - 5} = \frac{640}{5} = 128$$

$$S_y = \frac{480 - 0}{10 - 5} = \frac{480}{5} = 96$$

$$S(S_x, S_y) = \begin{pmatrix} 128 & 0 & 0 \\ 0 & 96 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T(0,0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{visualiza\ ção} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 128 & 0 & 0 \\ 0 & 96 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -5 \\ 0 & 1 & -5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{visualiza\ ção} = \begin{pmatrix} 128 & 0 & -640 \\ 0 & 96 & -480 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Determine a transformação de visualização que mapeie uma janela com coordenadas de seu canto inferior de (5,5) e do canto superior (10,10) para um dispositivo normalizado.

Resposta:

$$T_{visualiza\ ção} = T(0,0)\ .\ S(Sx, Sy)\ .\ T(0,0)$$

$$T(0,0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Sx = \frac{u_{max} - u_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

$$Sy = \frac{v_{max} - v_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

$$S_x = \frac{1-0}{10-5} = \frac{1}{5} = 0{,}20$$

$$S_y = \frac{1-0}{10-5} = \frac{1}{5} = 0{,}20$$

$$S(S_x, S_y) = \begin{pmatrix} 0{,}20 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T(0,0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{visualiza\ ção} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.20 & 0 & 0 \\ 0 & 0.20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{visualiza\ ção} = \begin{pmatrix} 0{,}20 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Determine a transformação de visualização que mapeie uma janela definida pelas coordenadas de seus cantos extremos (5,5) e (10,10) para um enquadramento definido pelos seus cantos extremos (0.5, 0.5) e (0,75,1) e depois para o espaço do dispositivo de finido com seus extremos (0,0) e (640,480).

Resposta:

$$T_{para\ \ espaço\ normalizado} = T(0.5{,}0.5)\ .\ S(Sx, Sy)\ .\ T(-5,-5)$$

$$Sx = \frac{u_{max} - u_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

$$Sy = \frac{v_{max} - v_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

$$S_x = \frac{0{,}75 - 0{,}5}{10 - 5} = \frac{0{,}25}{5} = 0{,}05$$

$$S_y = \frac{1 - 0{,}5}{10 - 5} = \frac{0{,}5}{5} = 0{,}1$$

$$S(S_x, S_y) = \begin{pmatrix} 0{,}05 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{para\ \ espaço\ normalizado} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -5 \\ 0 & 1 & -5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{para\ \ espaço\ normalizado} = \begin{pmatrix} 0.05 & 0 & 0.25 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{normalizado\ \ para\ \ dispositivo} = T(0{,}0)\ .\ S(Sx, Sy)\ .\ T(-0.5, -0.5)$$

$$Sx = \frac{u_{max} - u_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

$$Sy = \frac{v_{max} - v_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

$$S_x = \frac{0{,}75 - 0{,}5}{640 - 0} = \frac{0{,}25}{640}$$

$$S_y = \frac{1 - 0{,}5}{480 - 0} = \frac{0{,}5}{480}$$

$$S(S_x, S_y) = \begin{pmatrix} \frac{0.25}{640} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{0.5}{480} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{para\ \ espa\c{c}o\ normalizado} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{0.25}{640} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{0.5}{480} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -5 \\ 0 & 1 & -5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{para\ \ espa\c{c}o\ normalizado} = \begin{pmatrix} 0.000390625 & 0 & -0.001953125 \\ 0 & 0.0010416666667 & -0.0052083333333 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{visualiza\ \c{c}\tilde{a}o} = T_{normalizado\ \ para\ \ o\ dispositivo} \cdot T_{para\ \ o\ espa\c{c}o\ normalizado}$$

$$T_{visualiza\ \c{c}\tilde{a}o} = \begin{pmatrix} 0.000390625 & 0 & -0.001953125 \\ 0 & 0.0010416666667 & -0.0052083333333 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.05 & 0 & 0.25 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{visualiza\ \c{c}\tilde{a}o} = \begin{pmatrix} 0.00001953125 & 0 & -0.00185546875 \\ 0 & 0.00010416666667 & -0.0052083333333 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Determine a transformação de normalização de uma janela cujo canto inferior esquerdo é (0,0) e cujo canto superior direito é (4,3), num dispositivo de visualização normalizado, de tal forma que as razões de aspectos sejam preservadas.

Resposta:

$$x_{min} = 0; \;\; x_{máx} = 4;$$
$$y_{min} = 0; \;\; y_{máx} = 3;$$

$$r_{aspecto} = \frac{x_{máx} - x_{min}}{y_{máx} - y_{min}} = \frac{4-0}{3-0} = \frac{4}{3}$$

Assim para o dispositivo normalizado consideraremos a variação de 0 a 1 em x, para manter a razão de aspecto temos para y:

$$r_{aspecto} = \frac{u_{máx} - u_{min}}{v_{máx} - v_{min}} = \frac{4}{3} = \frac{1-0}{v_{max} - 0}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{1-0}{v_{max} - 0} = \frac{1}{v_{máx}}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{1}{v_{max}}$$
$$v_{máx} = \frac{3}{4}$$

$$T_{normaliza\ ção} = T(0{,}0)\ .\ S(Sx, Sy)\ .\ T(0{,}0)$$

$$Sx = \frac{u_{max} - u_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

$$Sy = \frac{v_{max} - v_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

$$S_x = \frac{1-0}{4-0} = \frac{1}{4}$$

$$S_y = \frac{\frac{3}{4} - 0}{3 - 0} = \frac{\frac{3}{4}}{2} = \frac{4}{8} = \frac{1}{4}$$

$$T_{normaliza\ ção} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{normaliza\ ção} = \begin{pmatrix} 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Obviamente as duas transformações com as matrizes identidades não precisariam ser executadas. Apenas foram formalizadas para destacar a possibilidade de ocorrência de translações quando os cantos inferiores esquerdos dos enquadramentos não sejam a origem.

Bibliografia Recomendada

ANGEL, E. **Interactive computer graphics**: a top-down approach with OpenGL. Massachusetts: Addison-Wesley, 1997.

FOLEY, D. J. et al. **Computer graphics**: principles and practice. Delhi: Pearson Education, 2004.

GOMES, J. M.; VELHO, L. C. **Conceitos básicos de computação gráfica**. São Paulo: IME-USP, 2008.

HEARN, D.; BAKER, P. M. **Computer graphics**: C version. New Jersey: Printice Hall, 1986.

NEWMAN, W. M.; SPROULL, R. F. **Principles of interactive computer graphics**. 2. Ed. New York: MacGraw-Hill, 1973.

PLASTOCK, R. A.; KALLEY, G. **Computação Gráfica**. Lisboa: McGRAW-HILL, 1991.

PERSIANO, R. C. M.; OLIVEIRA, A. A. Fernandes de. **Introdução a computação gráfica**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

ROGERS, D. F.; ADAMS, J. A. **Mathematical elements for computer graphics**. New York: McGRAW-HILL, 1990