



XXIV Congresso da
Sociedade Brasileira de
RADIOTERAPIA

17 A 20 DE AGOSTO | 2022 | FLORIANÓPOLIS/SC

DF ★ **STAR**
REDE D'OR

Uso do Sistema Clarity AutoScan 4D como IGRT

*André Banhate – Físico Médico
Hospital DF Star – Rede D'Or São Luiz*

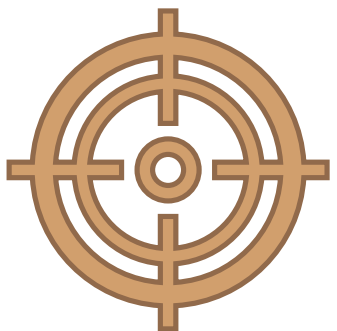
Sumário

Uso do Sistema Clarity AutoScan 4D como IGRT

- Apresentação
- Introdução
- Sistema Clarity *AutoScan* 4D
- Fluxo Trabalho
- QA Clarity
- Nossa Experiência
- Considerações Finais

Introdução

IGRT: Image-guided Radiotherapy

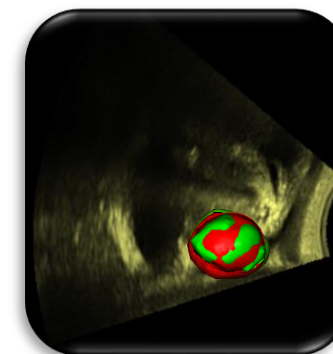


- IGRT is any imaging at the pretreatment and treatment delivery stage leading to an action that can improve or verify the accuracy of radiotherapy delivery.



Interfractional verification

This evaluates the set-up and motion between different treatment fractions.

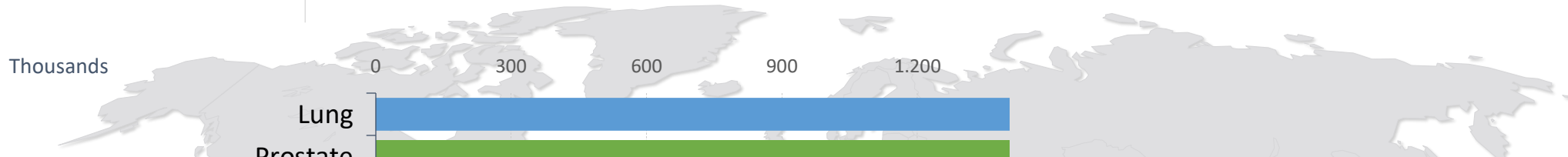


Intrafractional verification

This evaluates the set-up and motion during a single treatment fraction delivery.

Introdução

CA Prt: Número estimado de novos casos em 2020



Distribuição proporcional dos dez tipos de câncer mais incidentes estimados para 2020 por sexo, exceto pele não melanoma*

Homens			Mulheres		
Localização Primária	Casos	%	Localização Primária	Casos	%
Próstata	65.840	29,2%	Mama feminina	66.280	29,7%
Cólon e reto	20.520	9,1%	Cólon e reto	20.470	9,2%
Traqueia, brônquio e pulmão	17.760	7,9%	Colo do útero	16.590	7,4%
Estômago	13.360	5,9%	Traqueia, brônquio e pulmão	12.440	5,6%
Cavidade oral	11.180	5,0%	Glândula tireoide	11.950	5,4%
Esôfago	8.690	3,9%	Estômago	7.870	3,5%
Bexiga	7.590	3,4%	Ovário	6.650	3,0%
Linfoma não Hodgkin	6.580	2,9%	Corpo do útero	6.540	2,9%
Laringe	6.470	2,9%	Linfoma não Hodgkin	5.450	2,4%
Leucemias	5.920	2,6%	Sistema nervoso central	5.220	2,3%

*Números arredondados para múltiplos de 10.

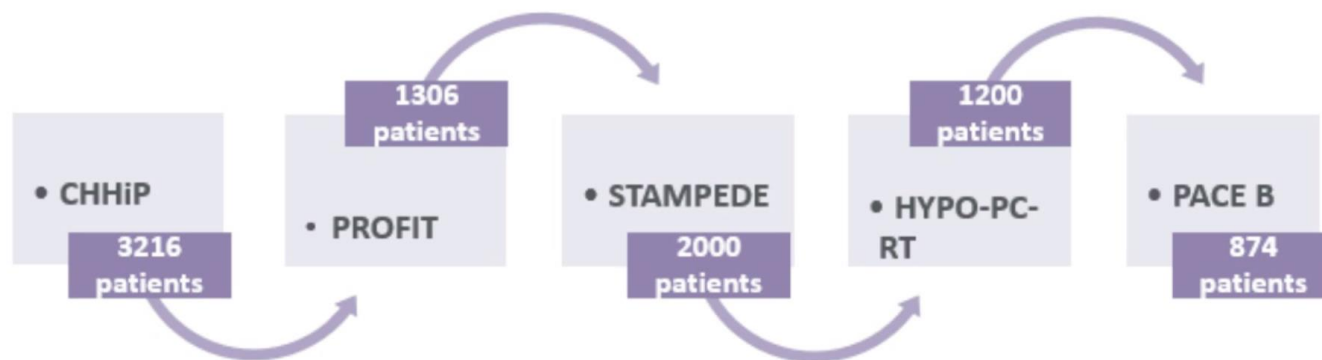
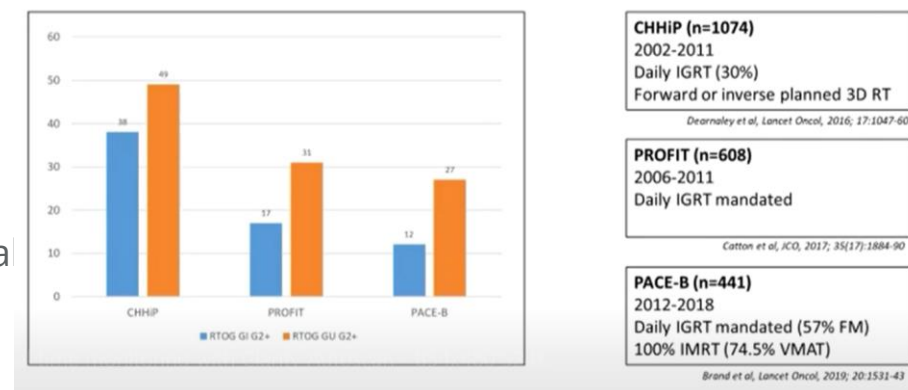
Melanoma of skin
Brain, central nervous system

* worldwide, males, all ages (excl. NMSC)

Introdução

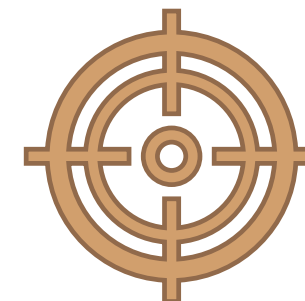
RT em CA de PRT

- Novo Normal: hipofracionar.
 - Definições Fracionamento (Astro 2018 Guideline)
 - Hipofracionamento Moderado
 - Frações de 240-340 cGy/dia
 - Uso IGRT diário para posicionamento como primordia
 - Ultra Hipofracionamento (SBRT)
 - Frações acima de 500 cGy/dia
 - Intrafração essencial

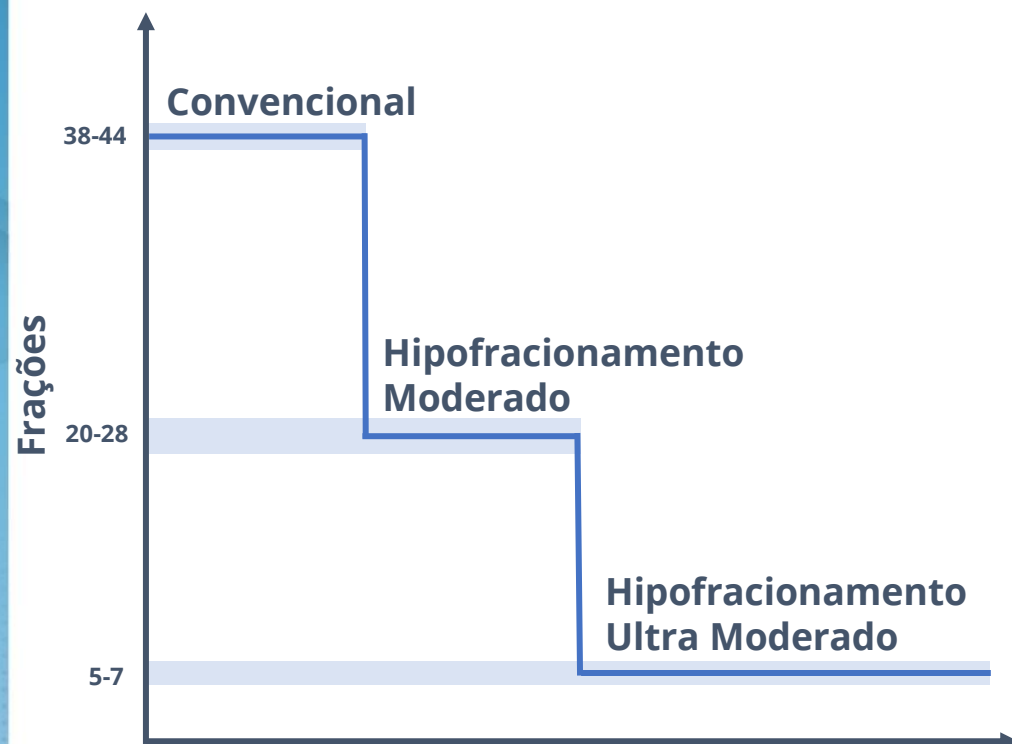


Dearnaley et al, Lancet Oncol. 2016; 17: 1047-60
Catton et al, J Clin Oncol. 2017; 35: 1884-1890
Parker et al, Lancet 2018; 392: 2353-2366
Widmark et al, Lancet 2019; 394: 385-395
Brand et al, Lancet Oncol. 2019. 20:1531-1543

Introdução



- Desafio hipofracionar:
 - Requer maior Precisão;
 - Risco movimentações durante a entrega da dose

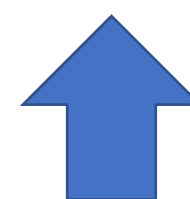


20%



Dose por
Fração

=



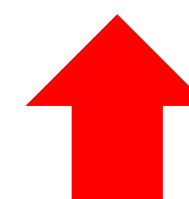
Impacto se
Alvo Fora

=



Risco de
toxicidade
no OAR

=

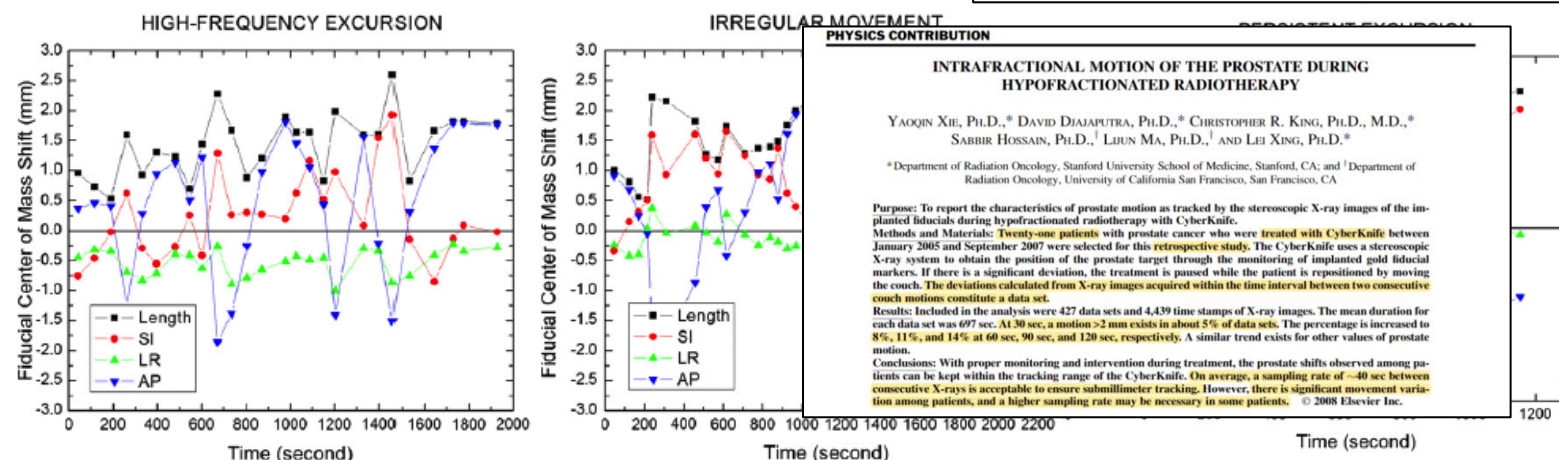
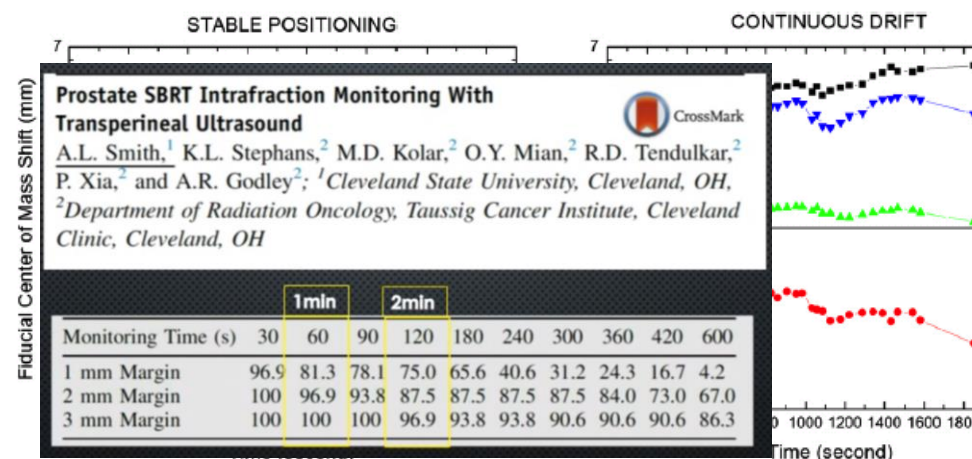


**Importância do
Monitoramento da
Movimentação
Intrafração**

Introdução

- Quanto a próstata pode se mover durante o tratamento?

Os deslocamentos da próstata geralmente, aumentam com o tempo, são aleatórios, esporádicos e muito individuais, portanto sua previsão é difícil. Mesmo em um paciente, deslocamentos podem ser muito diferentes de uma fração para outra.



Fonte: Xie et al, IJROBP 72, p. 236 (2008).

Lachaine, M. & Falso, T. Med. Phys. Int. 1, 72-80 (2013).

Han, B., et al., Radiat Oncol, 2018. 13(1): p. 151.

Biston, M.-C., et al., Radiotherapy and Oncology, 2019. 136: p. 1-8

Introdução

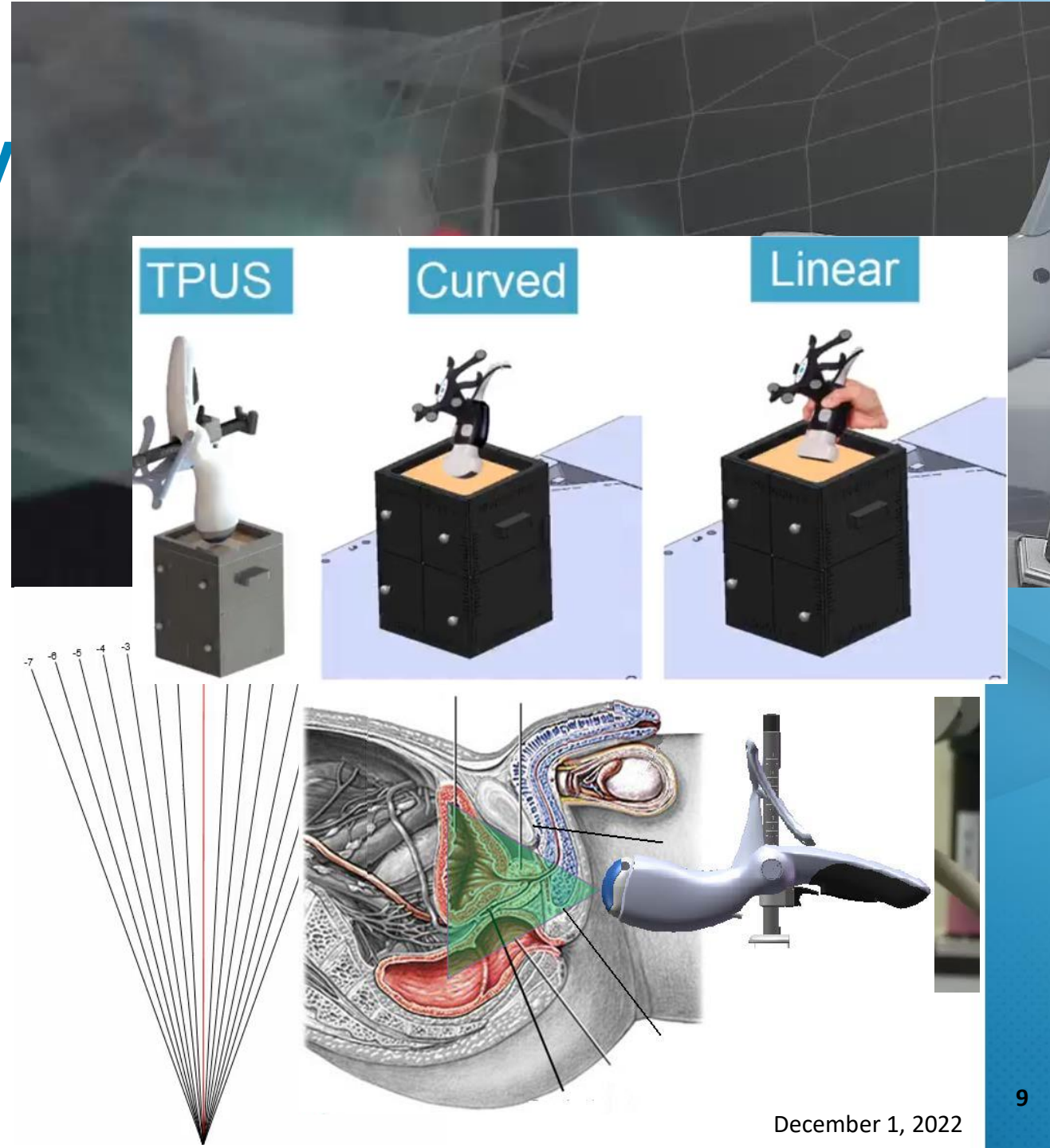
Manejar a movimentação PRT

- Fiduciais MV, KV (visíveis)
 - Invasivo
 - Migrar posição
 - Dose adicional
- Fiduciais Sinal eletromagnético (transponder)
 - Invasivo
 - Migrar de posição
 - custo
 - Artefato RM (follow up)
 - Detector campo de irradiação (Dosimetria)
- CBCT Intrafração
 - Dose adicional
 - Tempo adicional (entre arcos)
- Imagens KV/MV Intrafração
 - Dose adicional
 - Imagens Orto
 - Pouca info PRT
- ** sem informações tempo real.
- US
 - Não invasivo
 - Tempo real
 - Visualização do tecido mole

Sistema Clarity

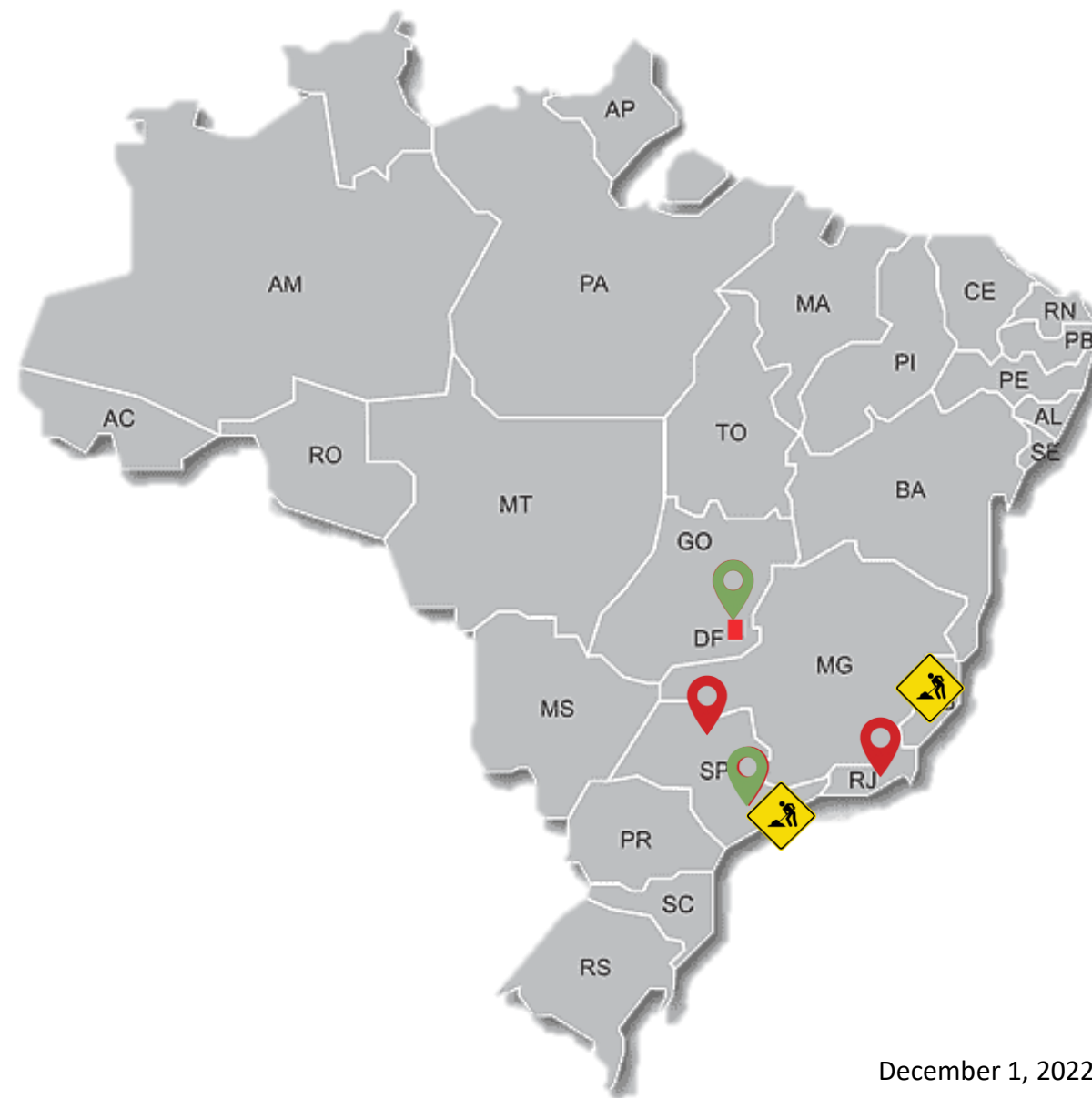
Conceitos

- IGRT baseado em imagens de Ultrassom (US)
 - Posicionamento (Localização do alvo pré tratamento) e/ou
 - Monitoramento (tracking) Intrafração em tempo real
- Eficiência:
 - Não ionizante
 - Não invasivo
- Inovação: Posicionamento transperineal (TPUS)
- Auto Scan: A aquisição US automática 2D → 3D
- Imagem em tempo real (4D): Uma nova posição da próstata a cada $\sim 1/2$ segundo
- Clarity controla a entrega da radiação:
 - Detecta qualquer movimento → Pausa automática feixe



Sistema Clarity

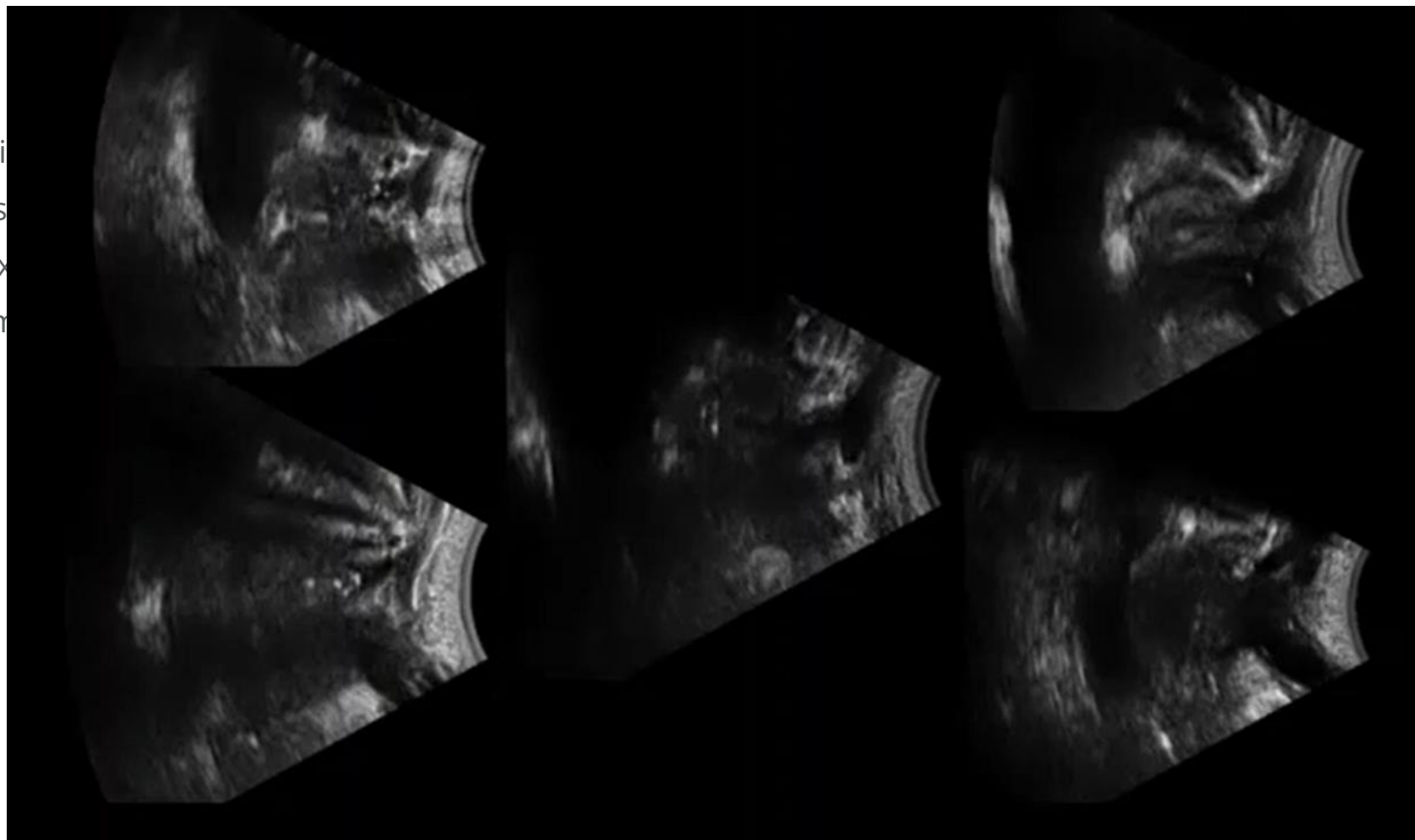
Clarity no Brasil



Sistema Clarity AutoScan 4D

Imagem de US

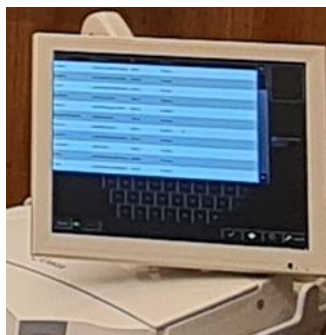
- Aquisição US
 - Cavidades cheias de líquido
 - Interface: Linhas brancas
 - Reto, bordas da bexiga
 - O osso púbico produz um



Declaração

Partes do Clarity

- Partes do Clarity
 - Unidade móvel (Sala Sim e Linac)
 - Base rígida (Acessório Posicionamento + Fixação)
 - Probe auto scan curvado + Marcadores Refletivos
 - Sistema Câmera IR
 - CPI (Couch Position Indicator)
 - Monitor Externo Sala
 - AFC workstation (Automated Fusion and Contouring)
 - Fantoma para QA

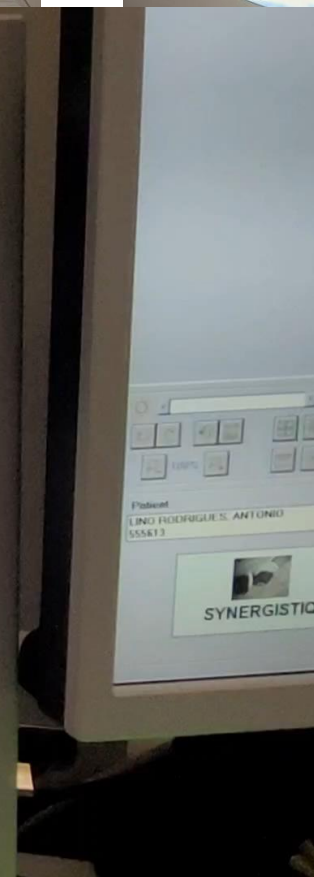
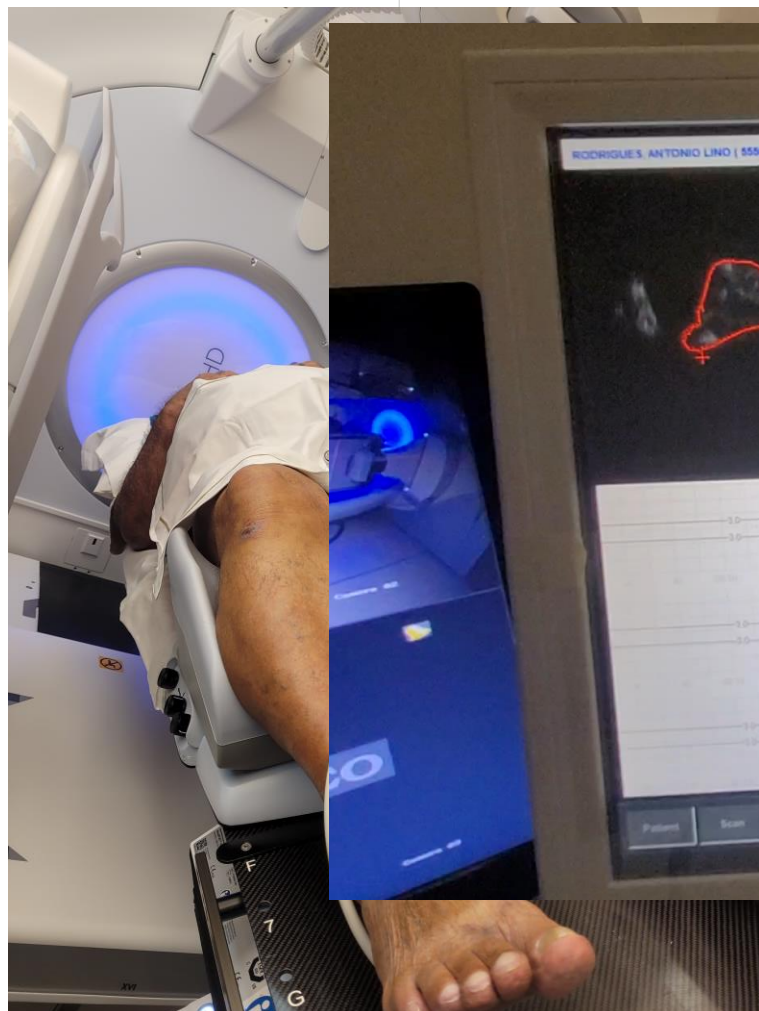


Sistema

Clarity na vida



AD



Sistema Clarity AutoScan 4D

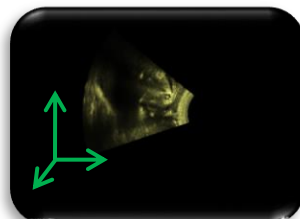
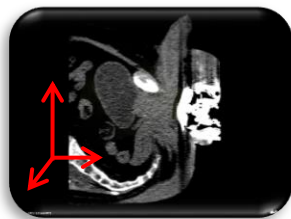
Clarity Sim (CT Room)

I



CT scan
(Standard of Care)

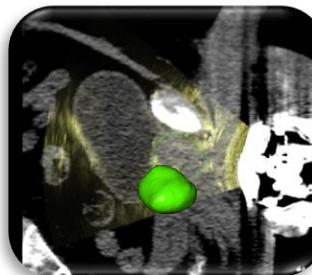
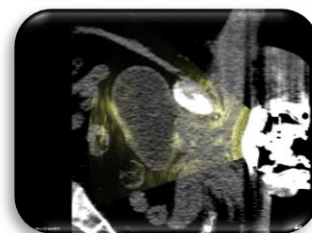
Clarity
Ultrasound
scan



Same coordinate system for CT and Clarity U/S
Same patient position

Clarity AFC Workstation

II



Draw Reference Positioning Volume on
U/S with CT as control

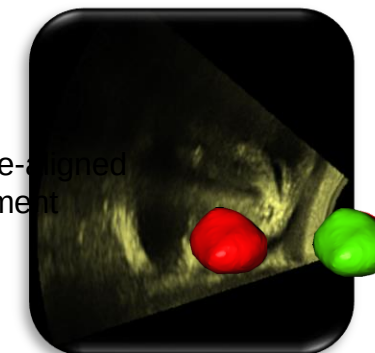
Clarity Guide (Linac Room)

III



- Daily U/S scan
- Compare new U/S Volume to U/S Positioning Reference
- Couch-shift calculated

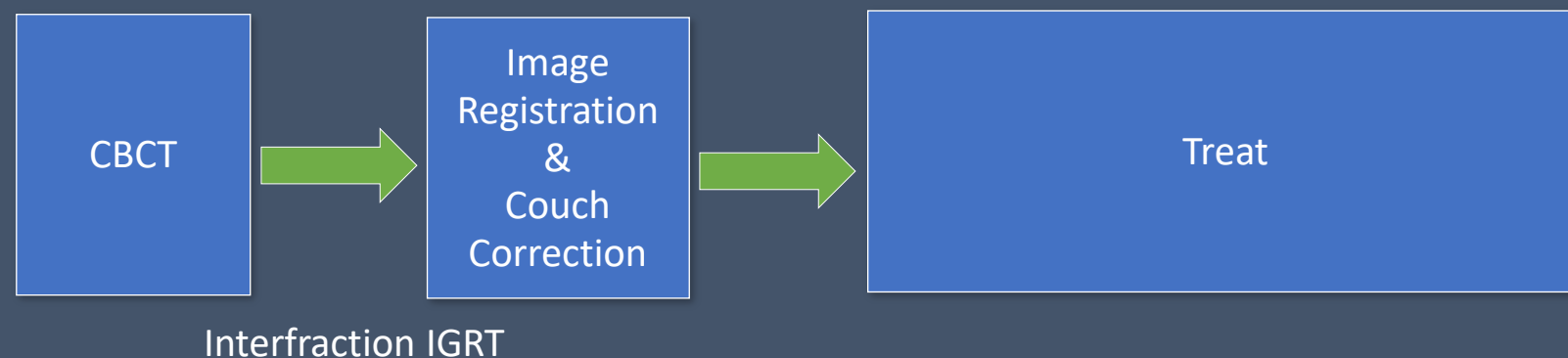
Patient re-aligned
for treatment



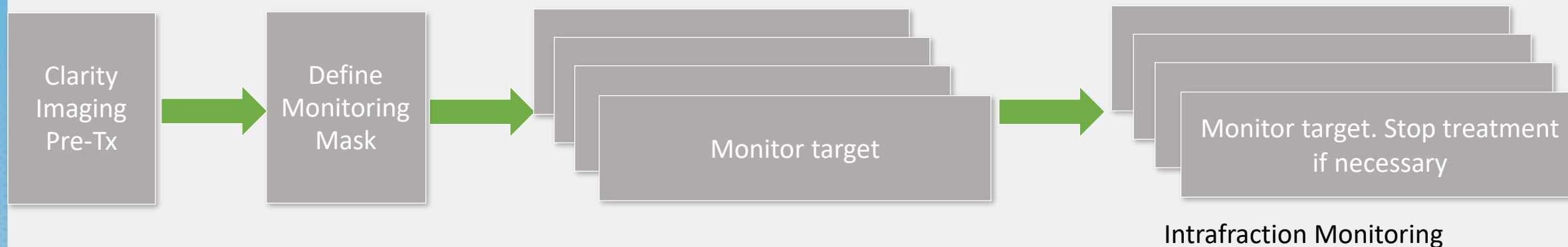
Sistema Clarity AutoScan 4D

Apenas Monitoramento

IGRT

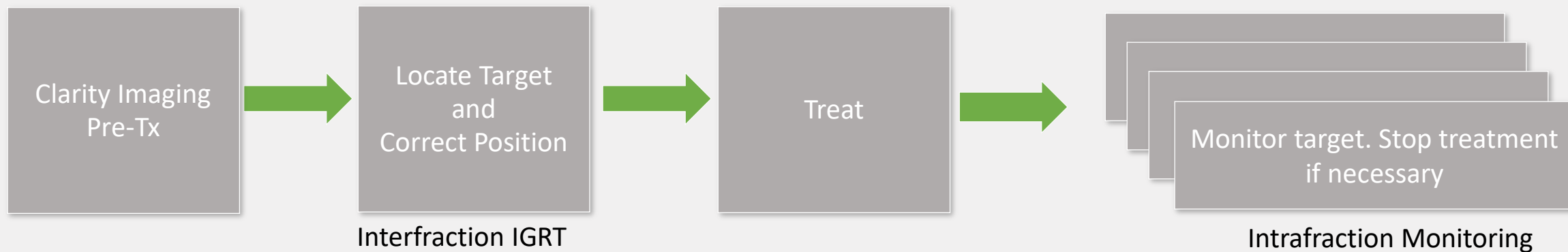


Clarity



Sistema Clarity AutoScan 4D

Clarity como localização



Sistema Clarity AutoScan 4D

Clarity: segurança durante todo tratamento

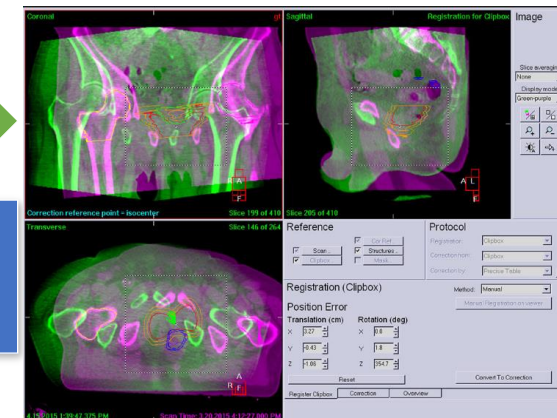
IGRT

Intra-fraction Tracking

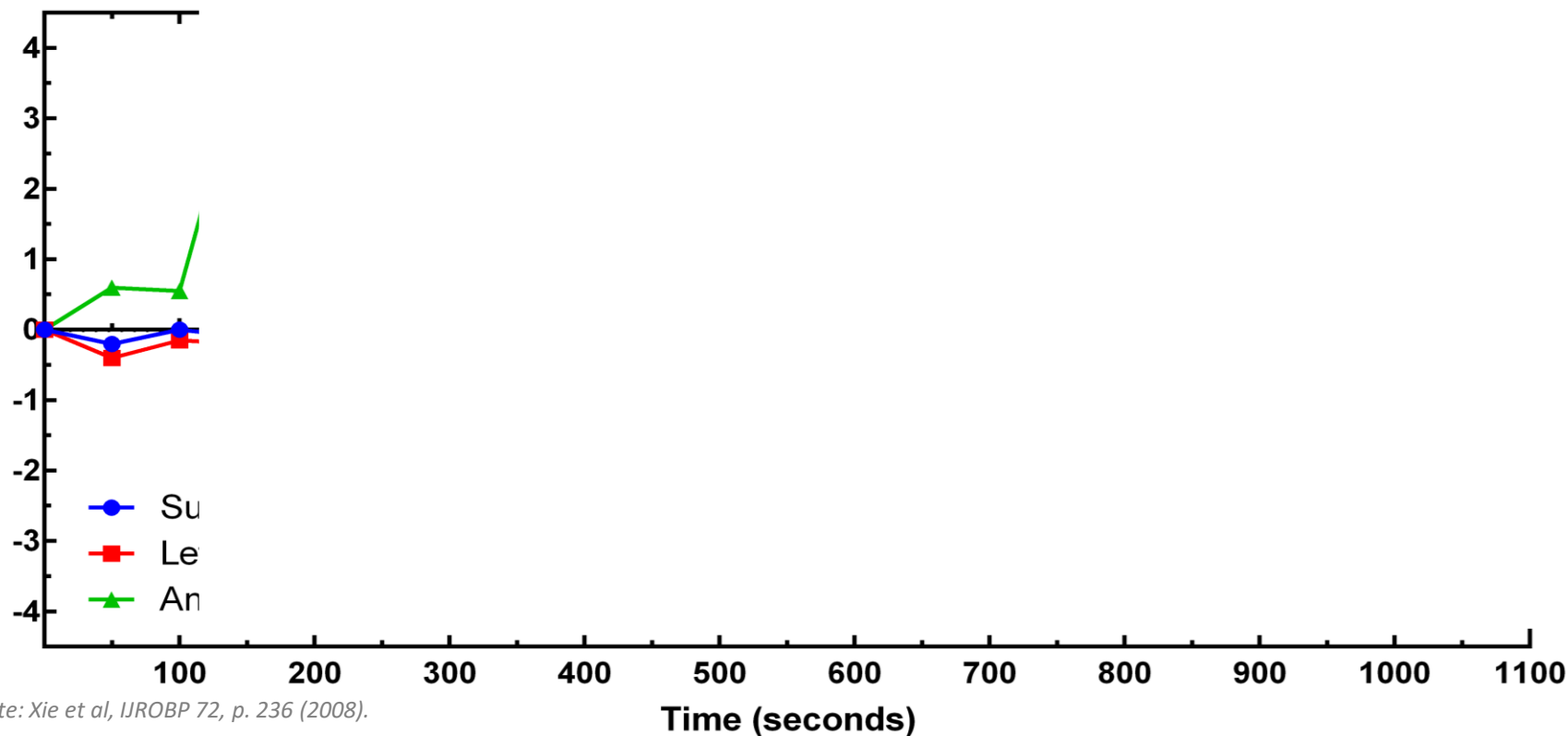
Acq

Image
Reg.

Treat



Fiducial Center of Mass Shift (mm)



Fonte: Xie et al, IJROBP 72, p. 236 (2008).

Fluxo Trabalho

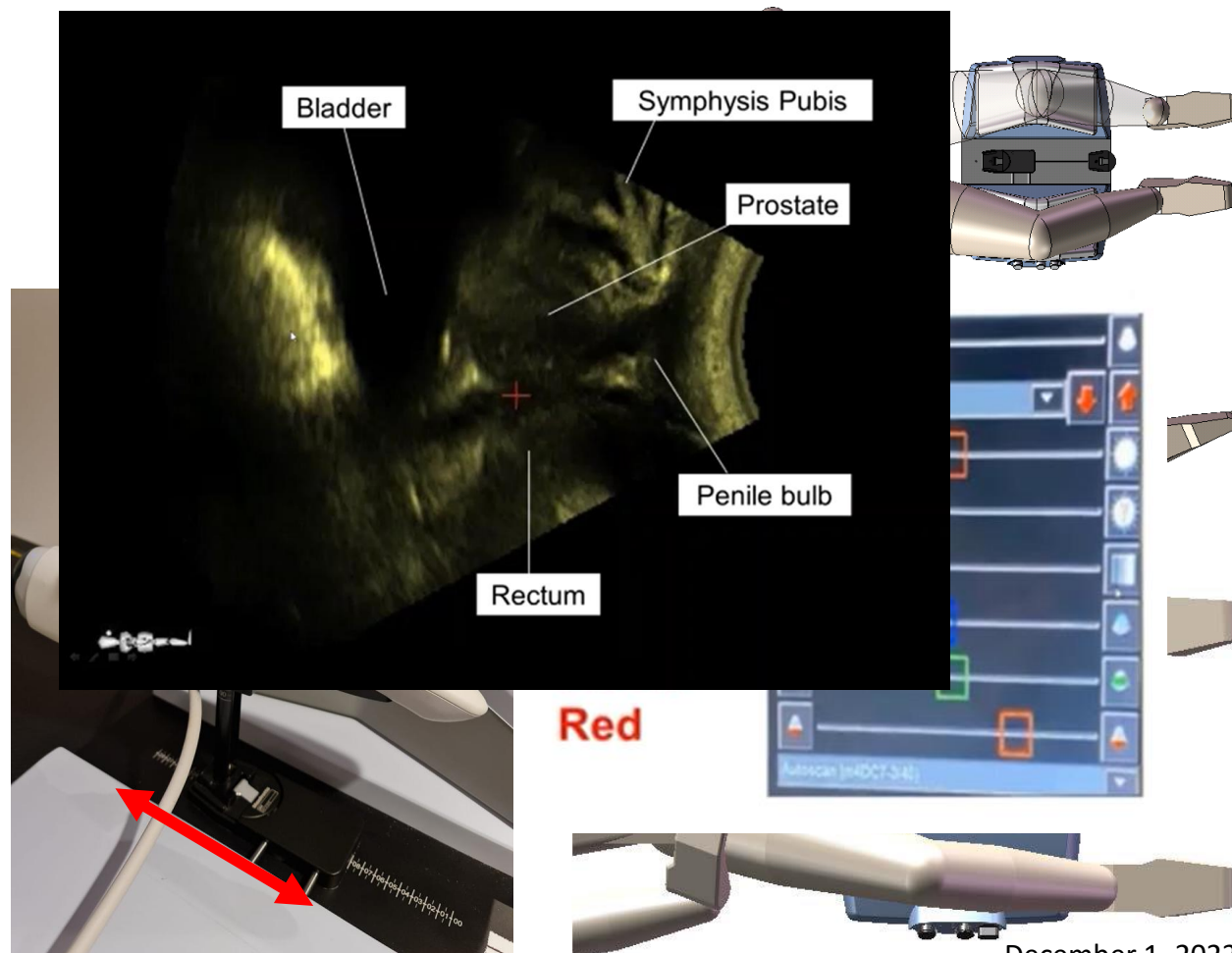
Sala de Simulação (Sim)

Clarity Sim (CT Room)

- Aquisição CT e US
- Bexiga confortavelmente cheia. Objetivo: 300ml
- CT e Imagem US: mesmo tempo e posição;
 - Importante minimizar tempo entre imagens.
- Aquisição Imagem US (Referência)
 - Posicionamento paciente/probe
 - Alinhamento, angulação probe
 - Otimizar qualidade imagem:
 - ajustes software (magnificação, ganho)
 - Boa “janela” acústica:
 - Gel US, bom contato pele, pressão razoável.

Clarity AFC Workstation

Clarity Guide (Linac Room)



Fluxo Trabalho

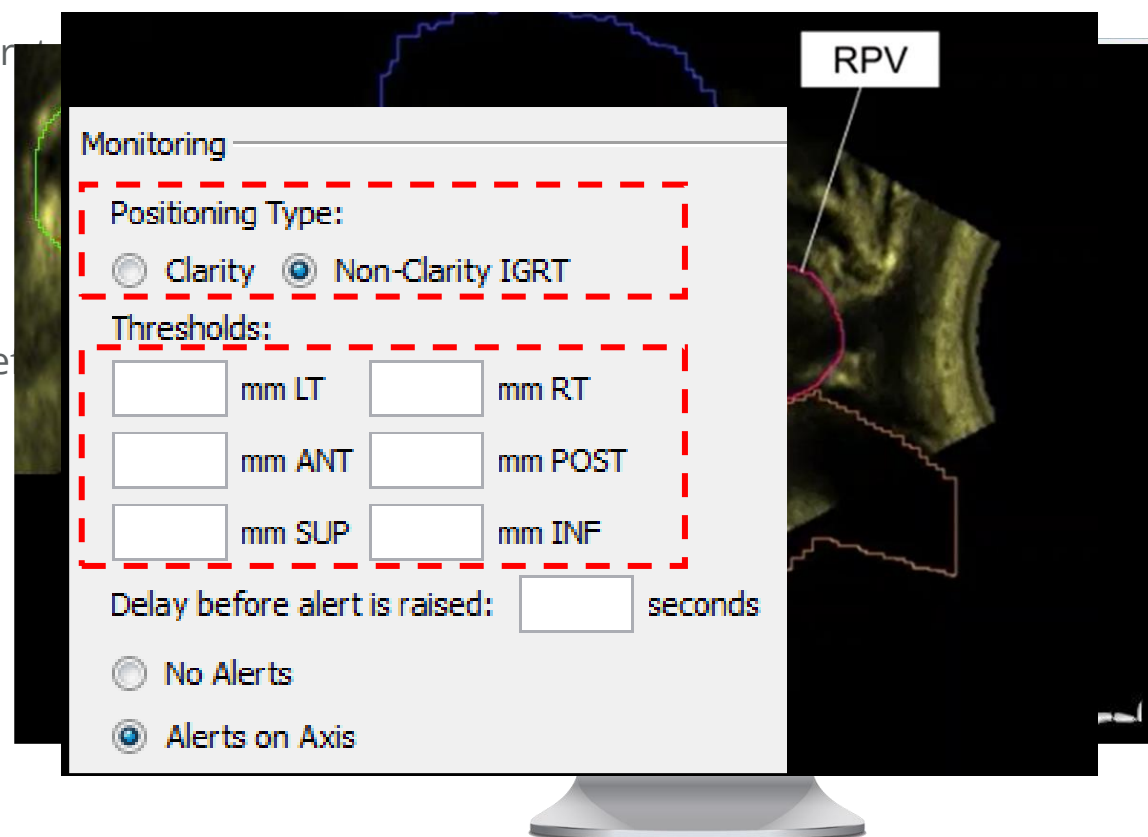
AFC Workstation

Clarity Sim (CT Room)

Clarity AFC Workstation

Clarity Guide (Linac Room)

- Após planejamento (contornos CT)
 - Exportar TPS→AFC: CT:Bexiga, Reto, PTV, CTV, Bulbo e uretra
- Fusão US e CT.
- Definição RPV (Reference Positioning Volume): Estrutura de Referência
 - Desenha RPV
 - Criar o RPV baseado no CTV.
- Definição do modo Tratamento e Alertas Monitoramento
 - Monitoramento: Tolerâncias Assimétricas.



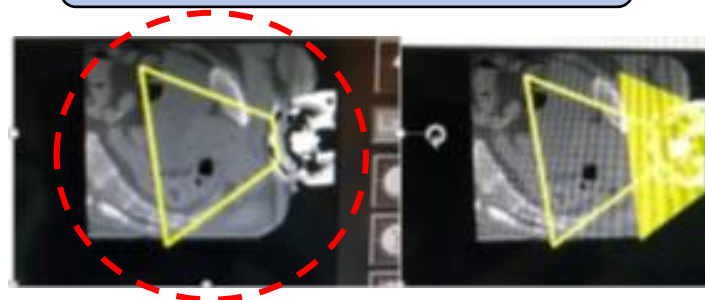
Fluxo Trabalho

Sala Linac

Clarity Sim (CT Room)

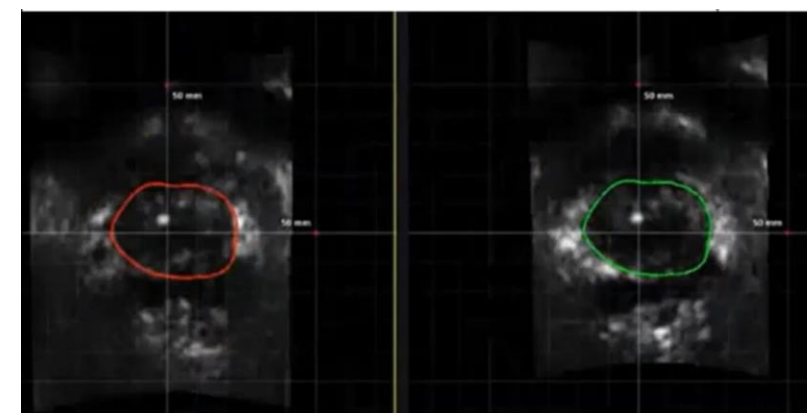
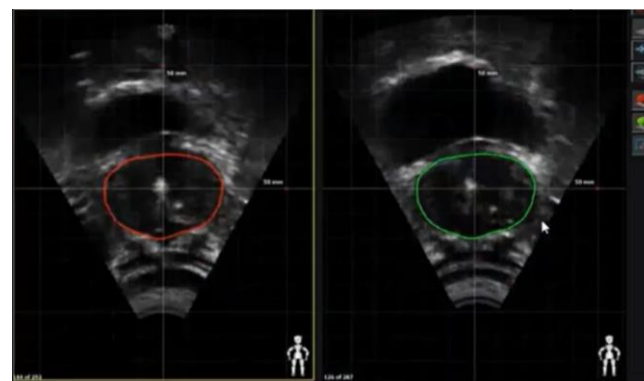
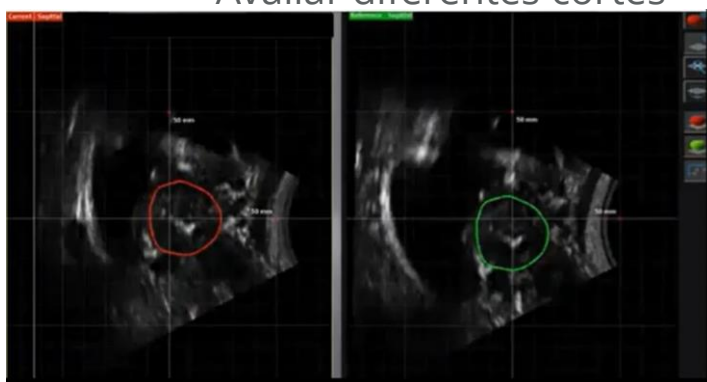
- Posicionamento inicial pelas marcas
- Adquirir imagem US pré-tratamento

Clarity AFC Workstation



Clarity Guide (Linac Room)

- Registro US referência com US planejada: Posicionar RPV de referência na im
 - Coincidir estruturas anatômicas
 - Avaliar diferentes cortes



Fluxo Trabalho

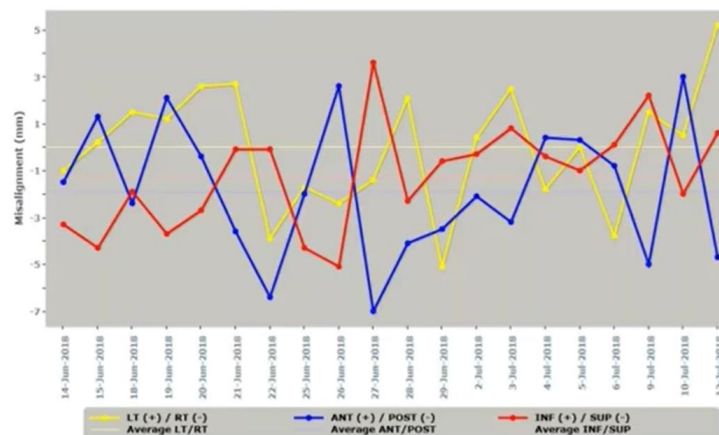
Sala Linac

Clarity Sim (CT Room)

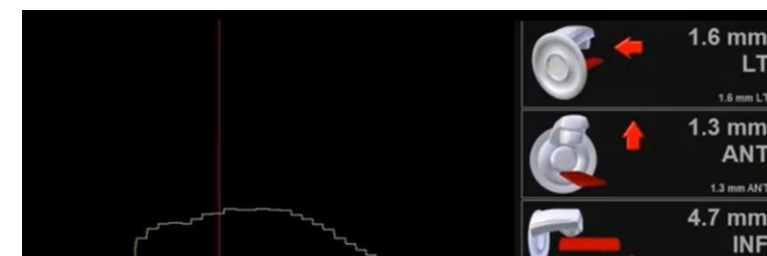
- Modo IGRT
 - Aplicar descolamento
 - Tratamento
- +++ Experiência e treinamento
 - reconhecimento pa
 - formação imagem no US; anatomia US; Equipamento → - C
- Revisão sistemática das atividades desenvolvidas:
 - Offline review: erros sistemáticos e randômicos.
 - Pacientes US consideradas de baixa qualidade
 - Grandes deslocamentos, correções inconsistentes (dia1: 6mmANT; dia2e3: 11-13 mm ANT).
 - Concordância entre Onset e Offline. (assegurar correções corretas)

Clarity AFC Workstation

Random inter fractional shifts



Clarity Guide (Linac Room)



		Left / Right	Ant / Post	Sup / Inf
4 th June	On set	7.4mm LT	6.3mm ANT	2.3mm SUP
	Off Line	8.5mm LT	6.3mm ANT	2.2mm SUP
5 th June	On set	0.4mm RT	11.3mm ANT	1.4mm SUP
	Off Line	0.7mm LT	13.1mm ANT	0.8mm SUP
6 th June	On set	2.8mm LT	13.2mm ANT	4.6mm SUP
	Off Line	1.8mm LT	11.4mm ANT	3.1mm SUP

Audit results: 100% within 3mm

Fluxo Trabalho

Sala Linac

Clarity Sim (CT Room)

Clarity AFC Workstation

Clarity Guide (Linac Room)

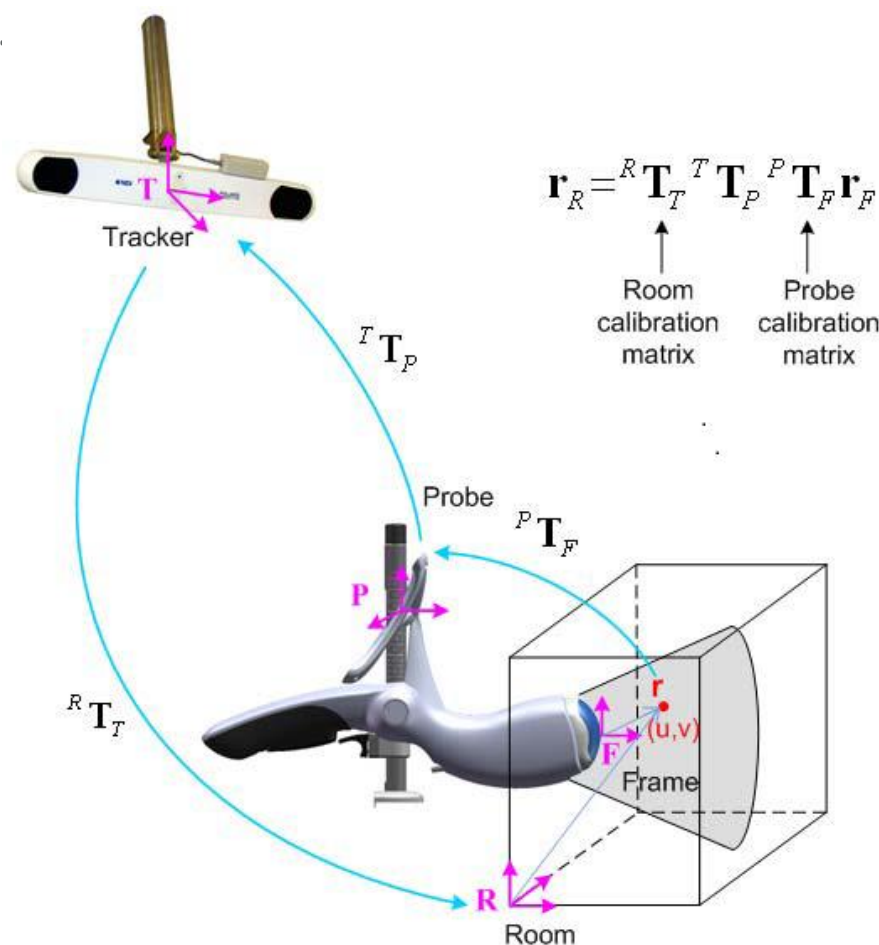
- Fase de Monitoramento
 - CBCT -> Aplicação d
 - Monitoramento:
 - Tempo Real
 - Pausa automática



QA Clarity

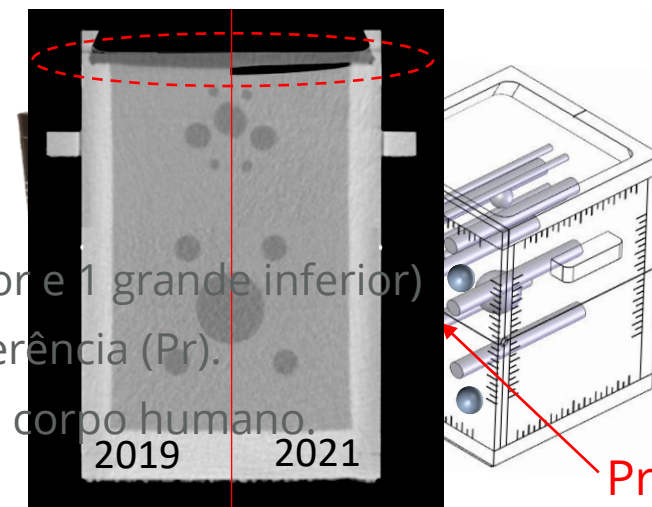
Calibração/caracterização do Sistema Clarity

- O processo de calibração determina as transformações para converter um determinado ponto em uma imagem de ultrassom 2-D em coordenadas 3D.
 - Precisão submilimétrica
- O processo de calibração consiste em 3 etapas
 - *Caracterização do fantoma*
 - *Calibração da Sala*
 - *Caracterização do Probe*
- *Verificação da acurácia do Sistema*
 - *QA diário*



QA Clarity

Caracterização do fantoma



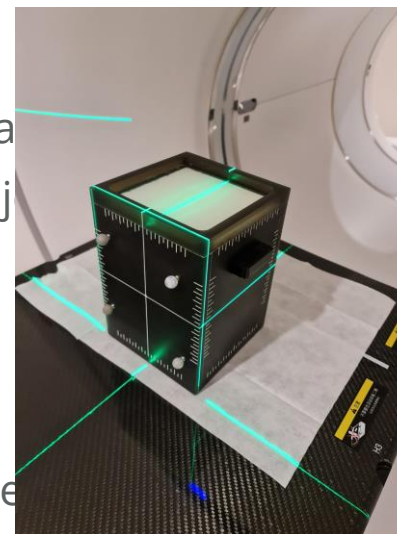
- O fantoma:
 - Objetos: Cilíndricos (4 pequenos e 6 grandes) e esferas (1 pequena superior e 1 grande inferior)
 - CT: Informação centro/coordenadas dos objetos relativos ao ponto de referência (Pr).
 - Construído de material que simula as propriedades acústicas do tecido do corpo humano.
 - Deformação com o tempo.

- Caracterização do fantoma: Mensalmente

- Atualiza as coordenadas dos objetos dentro do fantoma
- Informação coordenadas (x,y,z) do centro dos objetos

- Etapas:

- Aquisição CT.
- Exportação para o Clarity
- Unidade móvel: Caracterização/Identificação Objeto



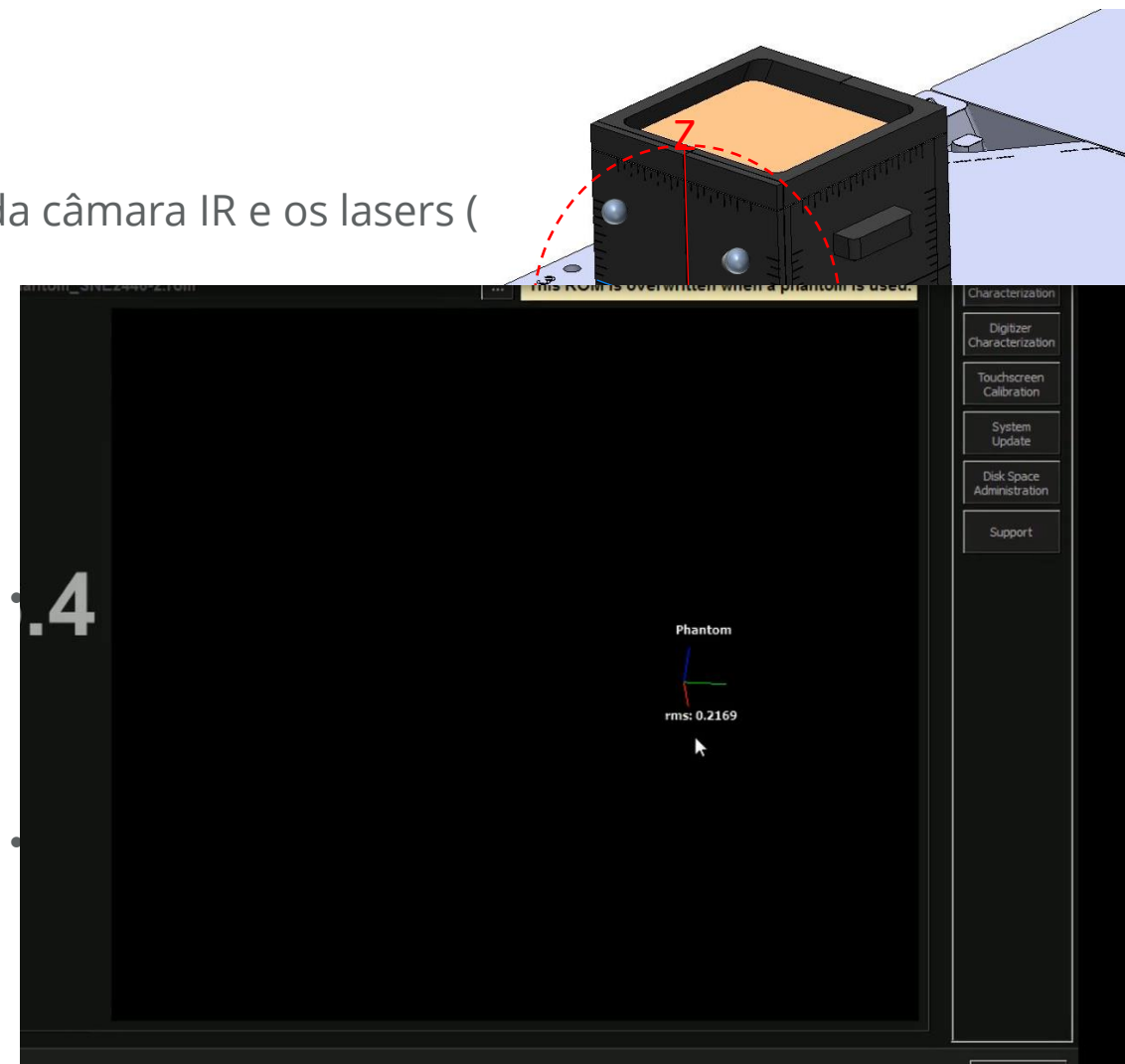
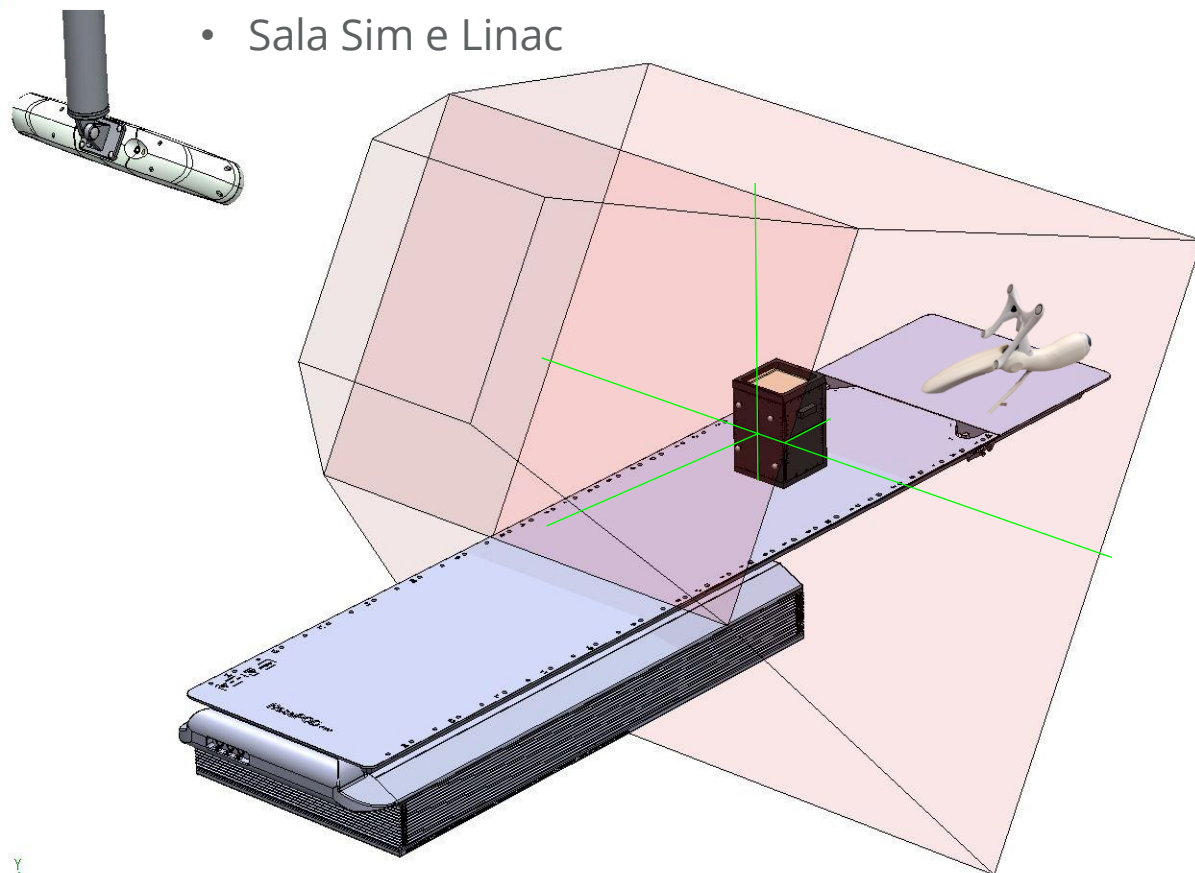
- Segmentação do volume do CT para determinar as posições da haste e da esfera relativos ao ponto de referência.

- Registrado no banco de dados para uso durante os processos de Caracterização da Probe,

QA Clarity

Calibração da Sala

- Relação geométrica entre o sistema de coordenadas da câmara IR e os lasers (
 - Sala Sim e Linac



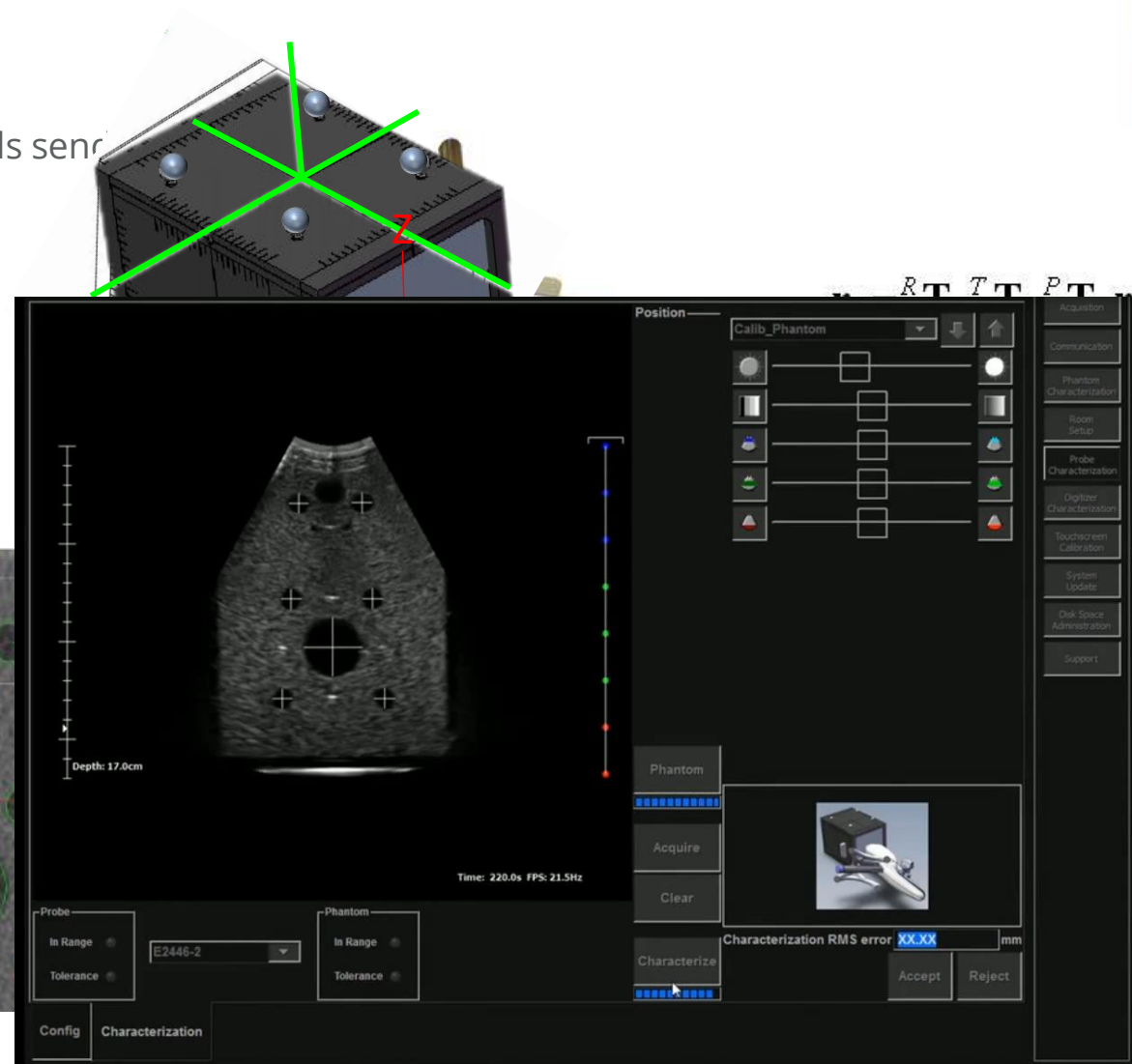
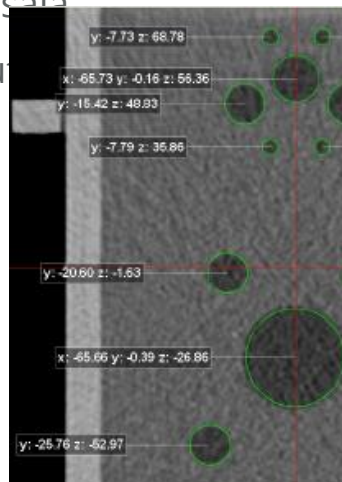
Definir o ponto de referência como sendo a coordenada do isocentro da sala.

December 1, 2022

QA Clarity

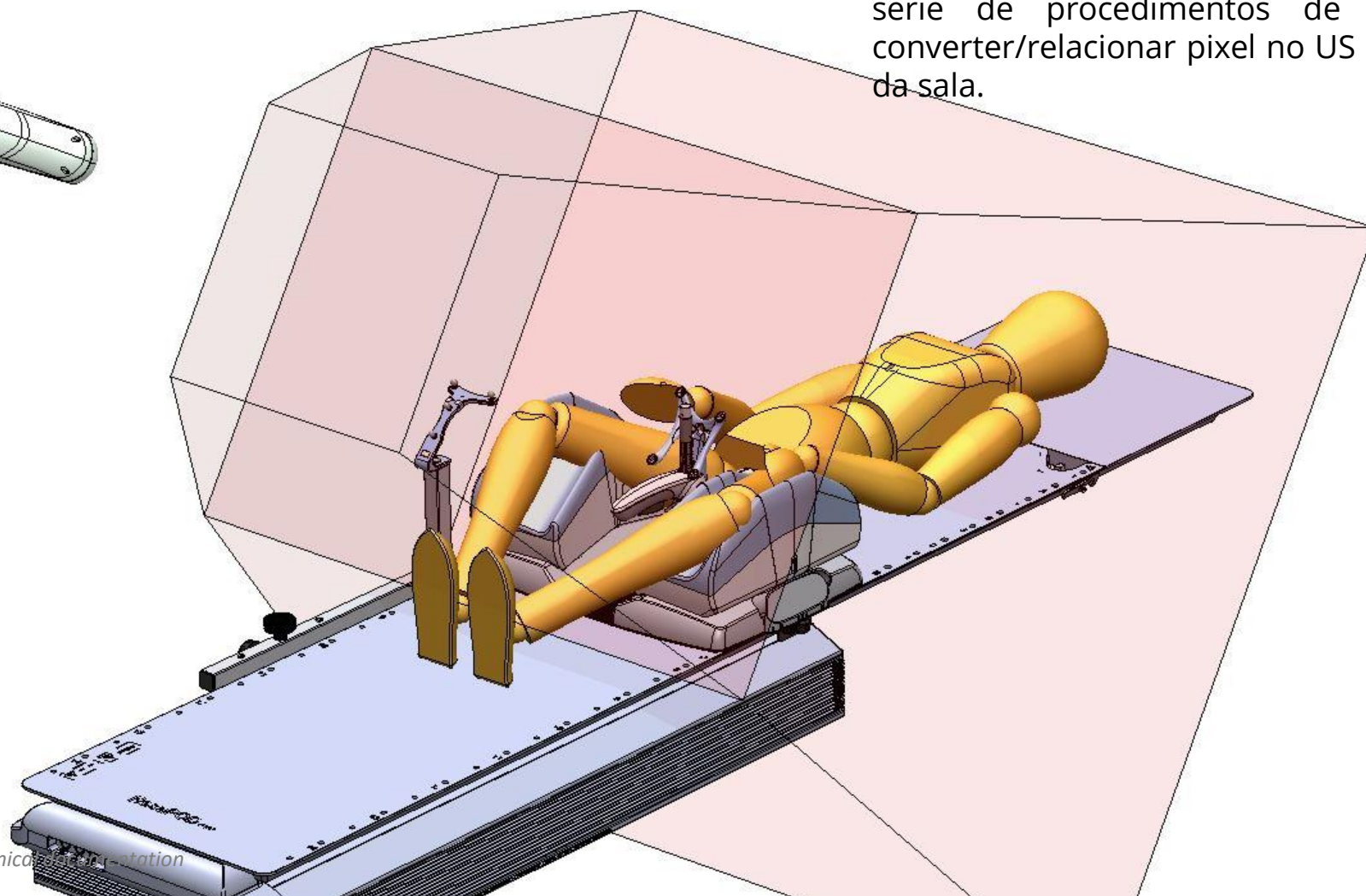
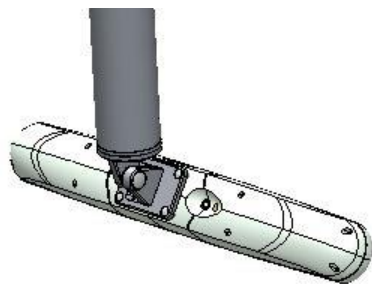
Caracterização do Probe

- Relação geométrica entre os marcadores refletivos e os pixels sensor
- Aquisição US contendo estruturas com posições conhecida
 - (CT pré adquirida – Caracterização Fantoma)
- Etapas:
 - Alinhamento. Ambos objetos visíveis pela câmara IR
 - Unidade móvel: Caracterização Probe
 - Identifica posição fantoma na sala
 - Algoritmo US identifica as estruturas



QA Clarity

Calibração do Sistema Completo



Através da relação matemática estabelecida por uma série de procedimentos de calibração, é possível converter/reacionar pixel no US no sistema da sala.

$$\mathbf{r}_R = {}^R\mathbf{T}_T^T \mathbf{T}_P^P \mathbf{T}_F \mathbf{r}_F$$

$\uparrow$ Room calibration matrix $\uparrow$ Probe calibration matrix

QA Clarity

QA diário: Teste diário da acurácia do Sistema

- Procedimento para verificar se o sistema Clarity está calibrado corretamente antes do uso.

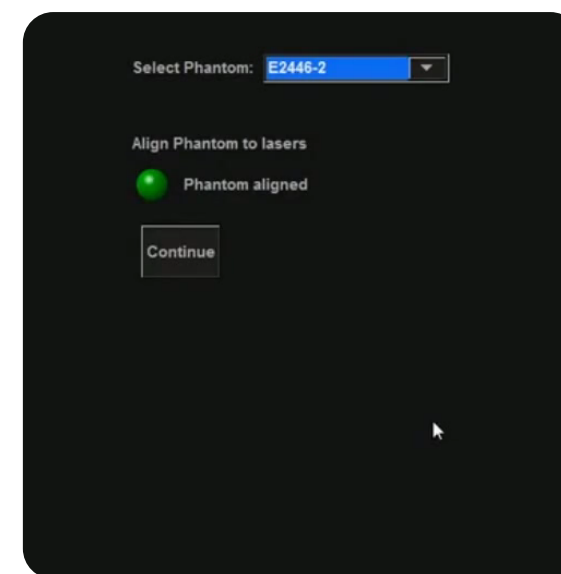
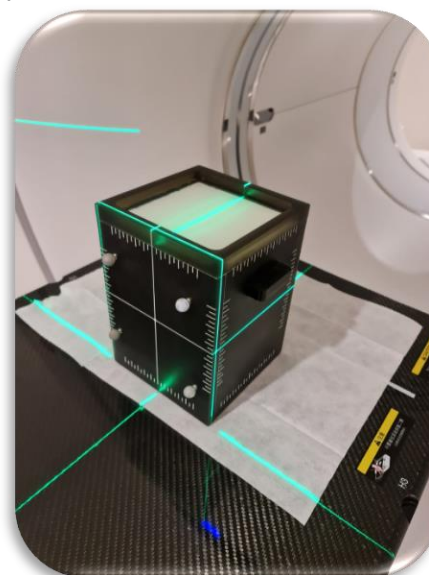
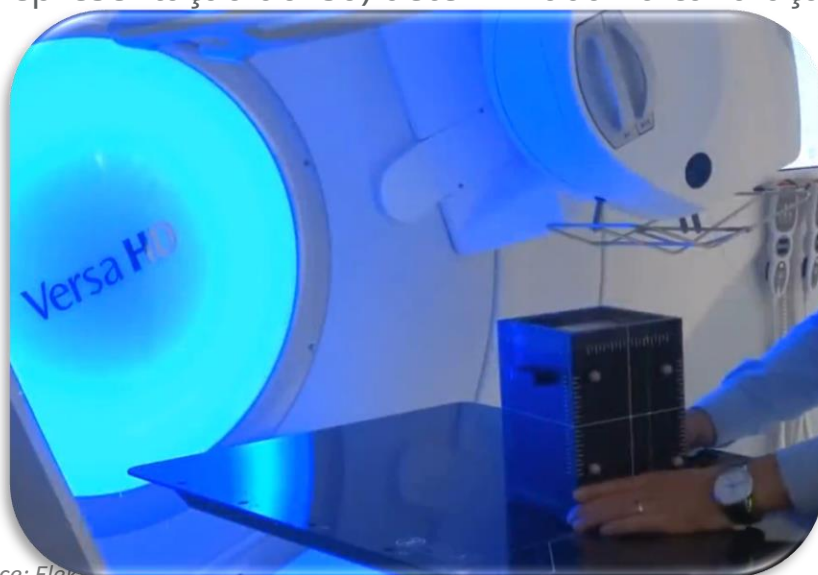
- Consiste em 2 etapas: onde

sem considerar

- 1) Teste de posicionamento (Calibração da Sala)

7* Setup: Posicionar: sem considerar

Análise: Clarity determina se o fantom está alinhado com distância máxima de 1mm do “Ponto Calibração da Sala” (representação do iso) determinada na calibração da sala.



QA Clarity

QA diário: Teste diário da acurácia do Sistema

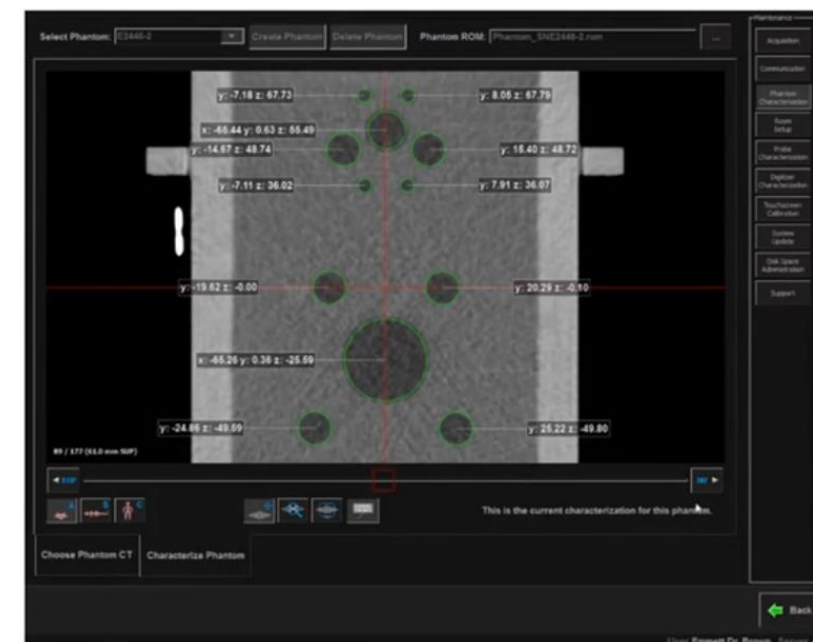
- Procedimento para verificar se o sistema Clarity está calibrado corretamente antes do uso.
 - Consiste em 2 etapas:
- 2) Teste do Probe (Caracterização da Probe)

Setup: aquisição US do fantom com o probe a ser avaliado.

Avaliação:

Coordenada Espera US ≤ 1 mm
Centroide da esfera da CT
(Caracterização do Fantom)

o completa, o Clarity reconstruí as imagens do 2D do US e determina o centro (x,y,x) da



Nossa Experiência

Workflow – Tempo Adicional Estimado

- Rotina QA
 - QA diário: 10 min
 - Sala Sim ou Linac
 - QA mensal: Caracterização da Fantoma: 15 min
 - Aquisição CT, Exportação, Importação e Análise Unidade Móvel



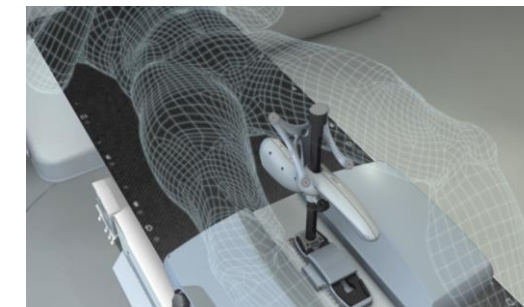
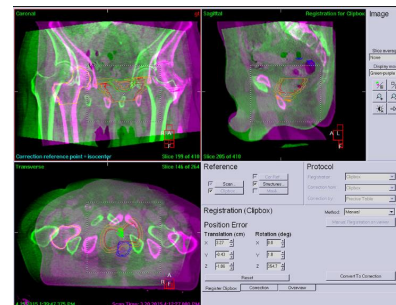
- Paciente
 - Sim: 4 min
 - Aquisição da US (Posicionar, Adquirir e Avaliar)
 - Plan: 15 min
 - AFC Workstation: Exportação, Importação, Fusão, Criar PRV
 - Tto: 4 min
 - Aquisição US (Posicionar, Adquirir e Avaliar) - SE modo monitoramento.
 - * IGRT Localização: 0 min (sem CBCT).

	Tratamento	Dias	Tempo dia (min)	Tempo Total (min)
Paciente A	Convencional	40	12	480
Paciente B	Moderado	20	16	320
Paciente C	SBRT	5	20	100

Nossa Experiência

Nossa Rotina – Hospital DF Star

- Implementação 2019
- + de 900 fx de US
- Fluxo: CBCT posicionamento online + Clarity monitoramento
 - Preparo OAR (Bexiga, reto) ; + Operador dependente; Compensar com > Margens



- Hospital DF Star
 - Tipo Fracionamento e tto
 - Margens: **redução com o tempo.**
 - SBRT:
 - Dose/dia
 - Margens
 - Métricas (Planejamento)
 - # de Interrupções e direções:
 - 25,5% (27/106)
 - Ant/Post (13); Sup/Inf (8); Lt/Rt (8).
 - Respostas: Toxicidade: (GI 2+)

TIPO FRAÇÃO

500

Ultra; 42%

725; 55%

Convencional; 0%

Métricas (Planejamento):

Unidade Monitora

UM = 2715 ± 700 (1660 - 4420) UM

Grau de Modulação

UM/ DOSE = $4,0 \pm 0,9$ (2,6 - 6,1)

Tempo de Entrega

Tempo * = 192 ± 400 (111 - 252) Seg

DOZADAS

PRT; 61%

3mm; 77%

Considerações finais

Uso do Sistema Clarity AutoScan 4D como IGRT

- Hipofracionamento em PRT realidade RT
- RT Hipofracionada → Importância Inter e Intrafração
 - Movimentos PRT: aleatórios, dependente tempo e imprevisíveis
- Movimentação Intrafração :
 - Os deslocamentos da próstata geralmente são aleatórios, esporádicos e muito individuais, portanto sua previsão é difícil. Mesmo em um paciente, tais deslocamentos podem ser muito diferentes de uma fração para outra. Aumentam com o tempo.
 - Idealmente: O monitoramento on-line e a correção de posição em tempo real devem ser considerados como a abordagem preferida para combater o movimento intrafração.
 - Vida real: frações tto mais curtas e margens seguras.
- Clarity 4D autoscan ferramenta de IGRT
 - Não ionizante
 - Não invasiva
 - Método eficaz de monitoramento Intrafração durante RT podendo melhorar acurácia da entrega da dose, reduzindo chances de erros de posicionamento.
 - Monitoramento tempo real e pausa automática do feixe de radiação.
 - IGRT posicionamento diário (substituir CBCT): ~~(Desafiador)~~ Revisão sistemática das atividades desenvolvidas. (Identificar Inconsistências e Falhas)
 - A experiência e o treinamento do usuário demonstraram melhorar a consistência e a reprodutibilidade da interpretação da imagem de US.
 - Viável (compatível Varian)



XXIV Congresso da
Sociedade Brasileira de
RADIOTERAPIA

17 A 20 DE AGOSTO | **2022** | FLORIANÓPOLIS/SC

DF★**STAR**
REDE D'OR

OBRIGADO

congressosbrt2022.com.br

ANDRE.BANHATE@DFSTAR.COM.BR



XXIV Congresso da
Sociedade Brasileira de
RADIOTERAPIA

17 A 20 DE AGOSTO | 2022 | FLORIANÓPOLIS/SC

DF★**STAR**
REDE D'OR



Introdução

Accuracy of 3D TPUS IGRT

- US: solução para o IGRT inter e Intrafração...
 - Estudos (melhorar):
 - IGRT
 - IGRT monitoramento/tracking: how good is US?
 - * tirar: Uso US p Intra: Estudos trocar fiducial por US
 - Fiducias vs visualização tecido mole: -incertezas

Study	Percent Agreement within 5 (3) mm			
	Superior-Inferior	Anterior-Posterior	Left-Right	Radial
<i>Fargier-Voiron et al.</i>	95	77	95	
<i>Zhou et al.</i>	67	77	92	
<i>Li et al.</i>	99 (86)	99 (91)	99 (93)	
<i>Zhu et al.</i>				60.0

M. Fargier-Voiron et al., Physica Medica 32(2016) 499–505
Li M et al, Strahlenther Onkol (2017) 193:221–228

N. Zhu, et al, Technology in Cancer Research & Treatment, V 18: 1-11, 2019
Zhou et al. Radiation Oncology (2019) 14:22

Large variability. Accuracy likely to be considerate currently inadequate for prostate IGRT.

- Intra com US: redução das incertezas devido movimen...
- in vivo validation of ultrasound imaging for intrafraction motion estimation using the E radiation therapy Conclusions: The accuracy of Clarity intrafraction prostate motion est monitoring systems in radiation therapy.

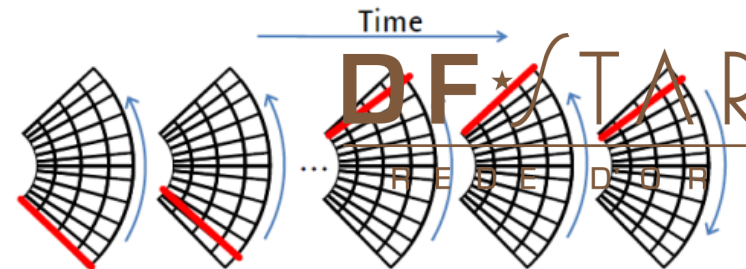
3DUS	+0.0 ± 1.7	0.3	−4.8 ... +3.9	93	100
Bone-match	+0.1 ± 1.1	0.0	−4.4 ... +5.0	98	99
Longitudinal axis					
3DUS	+0.2 ± 2.0 ^a	0.1	−4.5 ... +5.7	86	99
Bone-match	+1.3 ± 3.8 ^b	0.7	−10.6 ... +13.7	63	79
Vertical axis					
3DUS	+0.3 ± 1.7 ^a	0.2	−4.2 ... +5.5	91	99
Bone-match	+1.3 ± 4.5 ^b	0.1	−25.2 ... +15.0	57	73

Li et al, Strahlenther Onkol (2017)

- ** continuar

Declaração de Conflitos

De acordo com RDC 96/2008 ANVISA



- Fase de Monitoramento

where the ultrasound sweeps back and forth continuously. The first sweep is used continuously refreshed as the autoscan probe sweeps the region of interest.

An intensity-based image-to-image registration finds an optimal fit between the current and reference images. The algorithm uses normalized cross-correlation as the cost-function, and uses pixels within a comparison. The registration is constrained to 6 degrees of freedom, i.e., translations and rotations.

$$X_w = X_0 + D \begin{pmatrix} i \cdot s_i \\ (j \cdot s_j + r) \cos(\alpha k) - r \\ (j \cdot s_j + r) \sin(\alpha k) \end{pmatrix}.$$

$$X_p = \begin{bmatrix} u \\ \sqrt{v^2 + w^2} \\ \tan^{-1}(v, w) \end{bmatrix}.$$

Image-to-image registrations:

$$[u \ v \ w] = \text{diag}(s_i, s_j, s_j)^{-1} \cdot D^{-1}(X_w - X_0),$$

The calculation time for each registration is approximately 0.7 seconds.

Rather than wait for a full sweep, the calculation is applied in succession on each partially updated image.

The registration algorithm calculates a correlation score for each iteration. This score would be 1 for a perfectly correlated fit, and 0 for a completely uncorrelated fit.

The world coordinate X_w of the prostate (contours) center of mass (COM) is calculated, and the difference between the currently calculated COM and the reference COM position on the world determines the current prostate displacement.

The new sampled image is compared to the pretreatment US reference image acquired at beginning in cylindrical coordinates. The relationships between voxel coordinate $(X_p \ \frac{1}{4} \ i, j, k)$ and world coordinates X_w are defined in Equations 1 to 3:

where s_i and s_j are the pixel scaling, α is the rotational step, r is the radial offset from the voxel origin (X_0) to the axis of rotation, and D is the matrix of direction cosines