

6

Exemplo de Aplicação

A aplicação do programa CarbSM foi feita com base em um modelo conceitual (Figura 6.1.) idealizado de um atol durante o período de um ciclo de nível do mar de terceira ordem descrito por Handford e Loucks (1993). O modelo conceitual leva em conta os efeitos que a direção principal do vento tem sobre a distribuição das fácies pela plataforma, e apesar de ser um importante controle, esses efeitos não serão vistos nesse trabalho, pois não foi implementado um módulo que leve em conta efeitos dinâmicos.

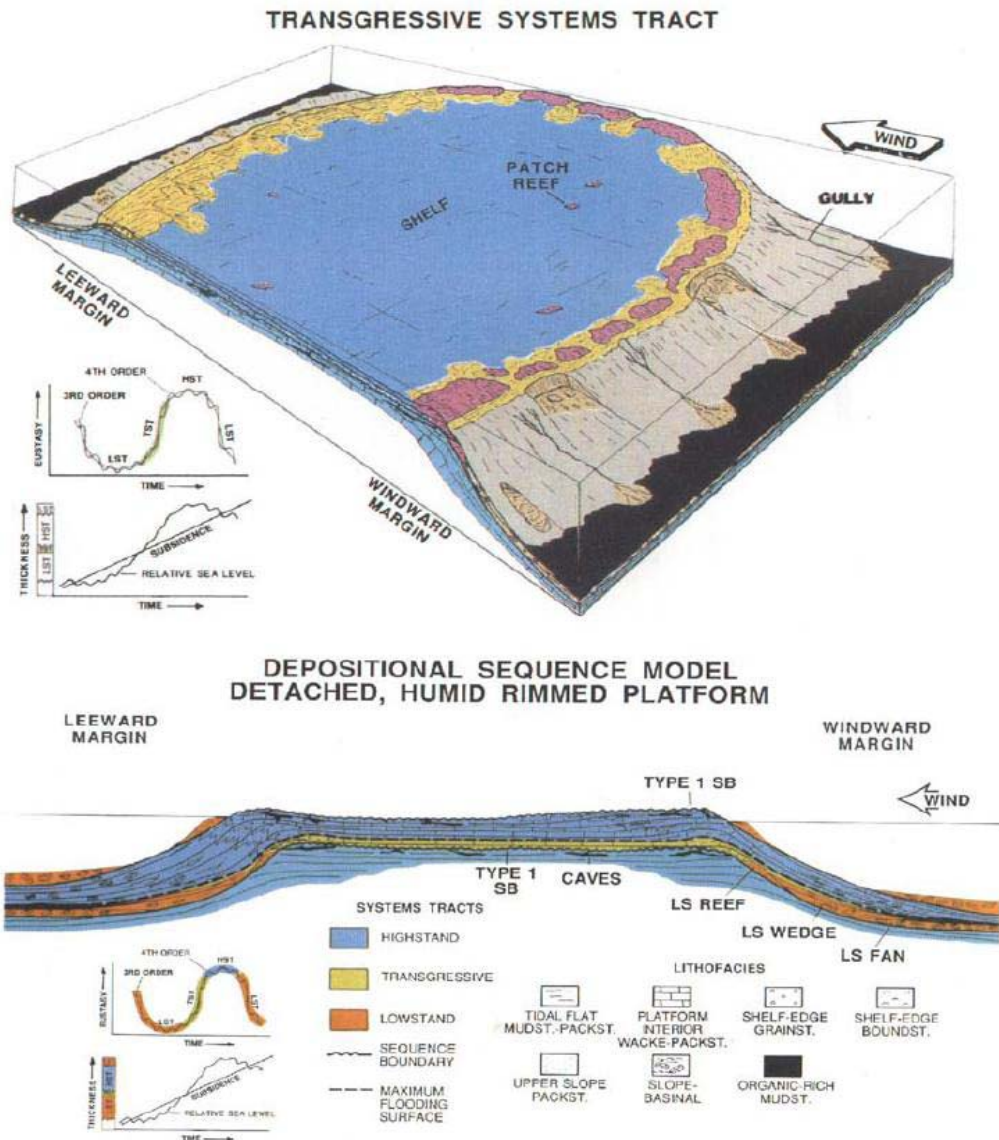


Figura 6.1. Modelo conceitual de Handford e Loucks (1993) de um atol sob condições de vento predominante.

6.1. Parâmetros de entrada

6.1.1. Superfície inicial

Uma superfície inicial precisa ser definida para poder gerar o modelo. Como não está sendo simulado um modelo real, não se tinha onde conseguir os pontos de controle necessários para gerar a superfície, por isso foram gerados no *software Surfer* os pontos (Figura 6.2) a fim de conseguir o formato desejado. Como os pontos foram gerados de maneira regular, não foi aplicada a interpolação por IDP

(Eq. 5.1), padrão no CarbSM, que é mais aplicável a casos de amostras reais de pontos. Nesse caso foi aplicada uma interpolação linear para obter uma superfície mais regular (Figura 6.3.).

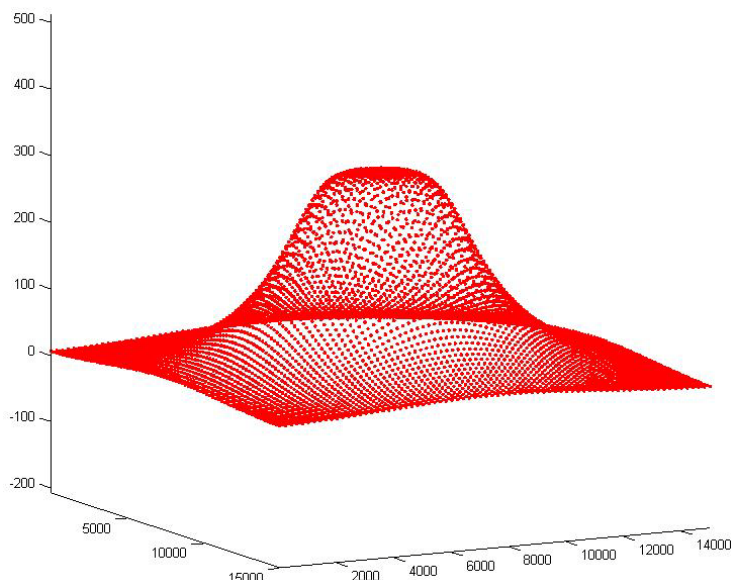


Figura 6.2. Pontos gerados no software *Surfer* e importados para dentro do CarbSM.

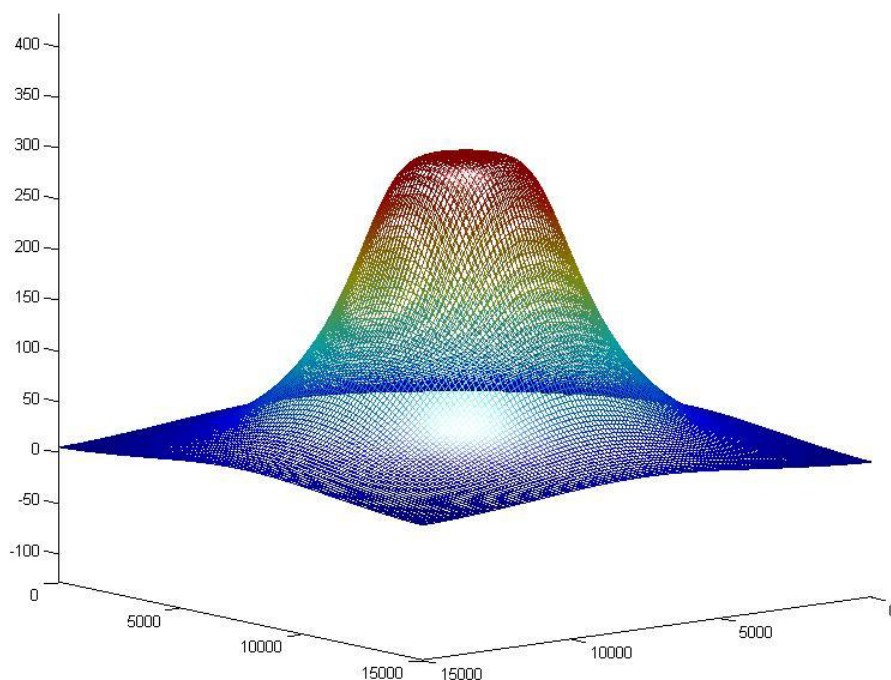


Figura 6.3. Superfície inicial gerada no CarbSM com uma interpolação linear.

A superfície tem 120 nós em x e em y , e os valores de Δx e Δy são ambos de 126,05 metros, totalizando um modelo de aproximadamente 15 km por 15 km, e tem por volta de 300 metros na sua profundidade máxima. Essas dimensões foram

baseadas nas dimensões de um típico atol do Pacífico, como, por exemplo, Mururoa (Buigues, 1997).

6.1.2.

Curva de nível do mar

Em Handford e Loucks (1993) uma ciclicidade de quarta ordem sobreposta a uma ciclicidade de terceira ordem foi utilizada em seu modelo conceitual. Os ciclos de terceira ordem tem uma duração de 1 Ma a 10 Ma (Reading e Levell, 1996) e tem uma amplitude entre 50 e 80 metros (Haq *et al.*, 1987). Ciclos de quarta ordem duram entre 100 e 400 ka (Reading e Levell, 1996) e costumam ter uma amplitude de alguns metros até dezenas de metros (Goodwin e Anderson, 1985). Nessa modelagem foram utilizados (Figura 6.4.):

- Ciclicidade de terceira ordem com período de 4 Ma e 60 metros de amplitude
- Ciclicidade de quarta ordem com período de 400 ka e 5 metros de amplitude
- Uma pequena subsidência linear com inclinação de aproximadamente 0.025

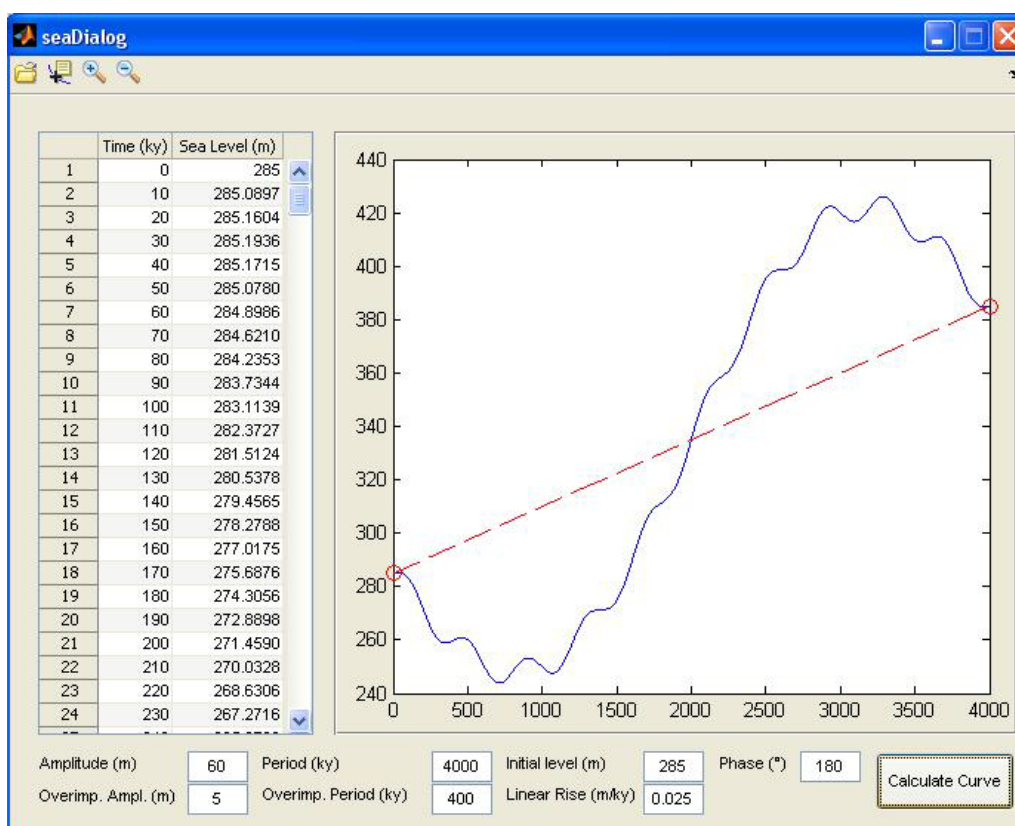


Figura 6.4. Curva de nível do mar utilizada no modelo, baseada na utilizada no modelo conceitual de Handford e Loucks (1993).

6.1.3. Taxas e Restrições

Alguns parâmetros podem ser retirados a partir de estudos de situações geológicas reais atuais obtidas no campo. Quando o simulador obtém bons resultados com esses parâmetros, significa que o modelo é capaz de reproduzir os principais controles geométricos e ambientais da produção carbonática de um atol. Para determinar as taxas máximas de crescimento carbonático no ambiente de margens de plataformas, taxas atuais de crescimento de corais foram utilizadas, como na maioria dos outros programas de simulação de carbonatos. Schlager (1981) e Kukal (1971) observaram taxas máximas de 15 m/kA em corais atuais. Como nessas taxas não estão incluídos nenhum efeito de possíveis hiatus que podem ocorrer em um intervalo muito grande de tempo e que os ambientes de margem de plataforma incluem outros tipos de organismos além dos corais, modeladores de sistemas carbonáticos tem utilizado taxas médias entre 1 e 5 m/kA para modelar margens de plataforma do Mioceno (Bosence *et al.*, 1994). Os

parâmetros para definir as restrições devidas à distancia para águas abertas, à taxa de atenuação e ao desvio padrão do filtro Gaussiano (que representa a distância até onde a suavização faz efeito para um determinado nó) podem ser quantificados através da observação da ordem de grandeza do tamanho de lagunas e atóis modernos e suas profundidades. Em Warrlich *et al.* (2002), a taxa de atenuação é por volta algumas dezenas de metros e o desvio padrão do filtro na ordem de algumas centenas de metros. As taxas máximas de produção carbonática em ambientes de interior de plataforma costumam ser de um terço a um quinto das taxas das margens (Davies, 1983, Smith, 1983). As taxas de crescimento de carbonatos de águas profundas costumam variar entre 0.005 e 0.08 m/kA (Enos, 1991). Quando cai a profundidade, essas taxas são praticamente nulas, pois os organismos responsáveis pelo crescimento das margens da plataforma dominam o ambiente.

6.1.4.

Resumo dos parâmetros de entrada

1. Gerais
 - 1.1. Tempo de simulação: 4000 kA
 - 1.2. Passo de tempo: 10 kA
 - 1.3. Discretização da malha: $\Delta x = \Delta y = 126.05$ m
2. Produção Carbonática
 - 2.1. Taxa máxima de crescimento em águas rasas e abertas: $P_{MA} = 3.5$ m/kA
 - 2.2. Taxa máxima de crescimento em águas rasas e restritas: $P_{MR} = 0.3$ m/kA
 - 2.3. Taxa máxima de crescimento em águas profundas: $P_{MP} = 0.01$ m/kA
 - 2.4. Parâmetro de atenuação por profundidade em águas rasas: $\sigma_D = 15$ m
 - 2.5. Nível de base das ondas: $z_b = 1.5$ m
 - 2.6. Fator adimensional de decaimento para carbonatos de águas rasas: $L = 7$
 - 2.7. Taxa de deposição de sedimentos soltos limite para início da restrição: $s_L = 0.01$ m/kA
 - 2.8. Atenuação exponencial da restrição por sedimentos soltos: $\sigma_s = 0.1$ m
 - 2.9. Atenuação exponencial por profundidade em águas profundas: $\sigma_P = 100$ m
 - 2.10. Taxa de atenuação por profundidade suavizada: $\sigma_M = 10$ m
 - 2.11. Alcance do filtro Gaussiano: $\sigma_G = 2500$ m

3. Curva do nível do mar

3.1. Período da ciclicidade de terceira ordem: $\omega_1 = 4000$ kA

3.2. Período da ciclicidade de quarta ordem: $\omega_2 = 400$ kA

3.3. Amplitude da ciclicidade de terceira ordem: $A_1 = 60$ m

3.4. Amplitude da ciclicidade de quarta ordem: $A_2 = 5$ m

3.5. Fase inicial: $\theta = 180$ graus

3.6. Inclinação da subsidência linear: $\alpha = 0,025$ m/kA

6.2. Resultados

Os resultados obtidos foram analisado separadamente para cada *Systems Tract* mostrado no modelo conceitual.

6.2.1. Lowstand System Tract (LST)

Nos períodos de *lowstand*, recifes aparecem sem muitos depósitos lagunais em volta do topo do atol exposto à atmosfera, os taludes começam a crescer, causando instabilidades nos taludes que levam a fluxos gravitacionais em direção à bacia. Os efeitos do vento geralmente ainda não aparecem muito, pois ainda há pouca erosão (Handford e Loucks, 1993).

O modelo conceitual de Handford e Loucks é mostrado na Figura 6.5, a Figura 6.6 mostra a variação eustática no período analisado. A Figura 6.7 mostra uma visão geral do modelo gerado no CarbSM, com a uma visão de planta na Figura 6.8 e um corte transversal na Figura 6.9. A Figura 6.10 mostra como é feita a identificação dos tipos de sedimentos carbonáticos modelados.

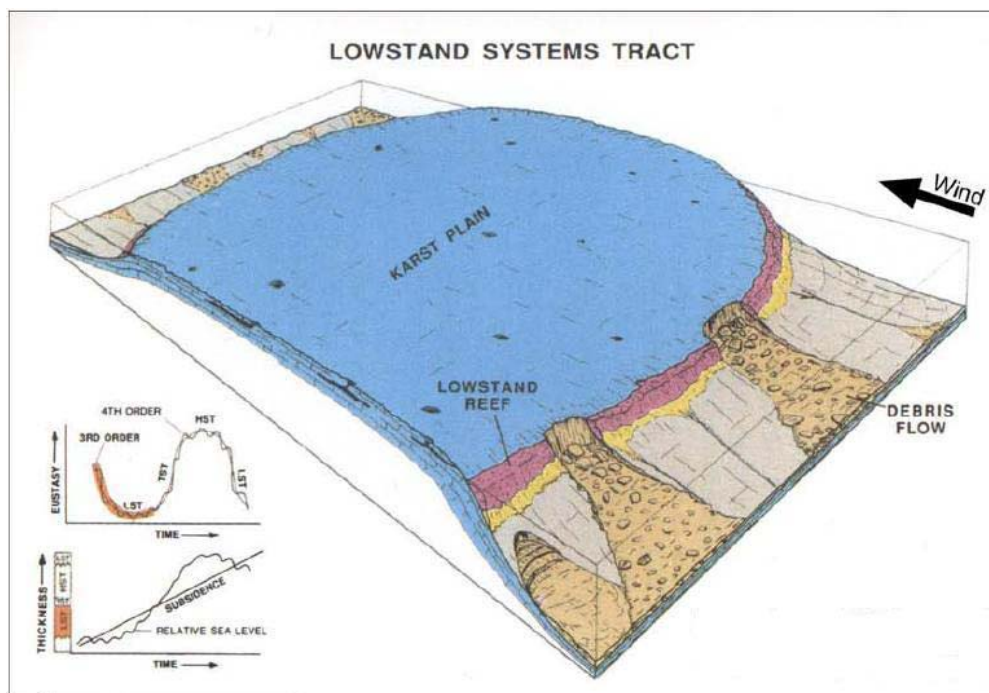


Figura 6.5. Lowstand System Tract no modelo de Handford e Loucks (1993).

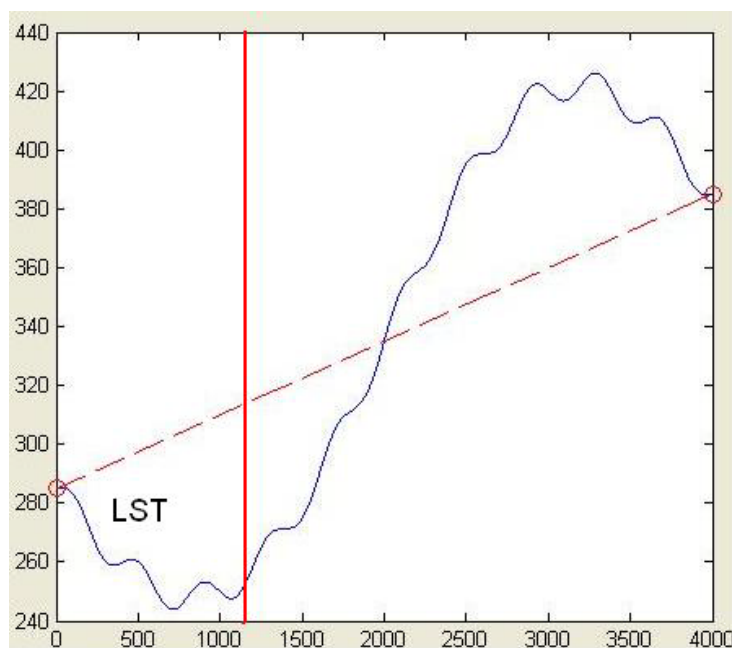


Figura 6.6. Variação eustática no período LST analisado

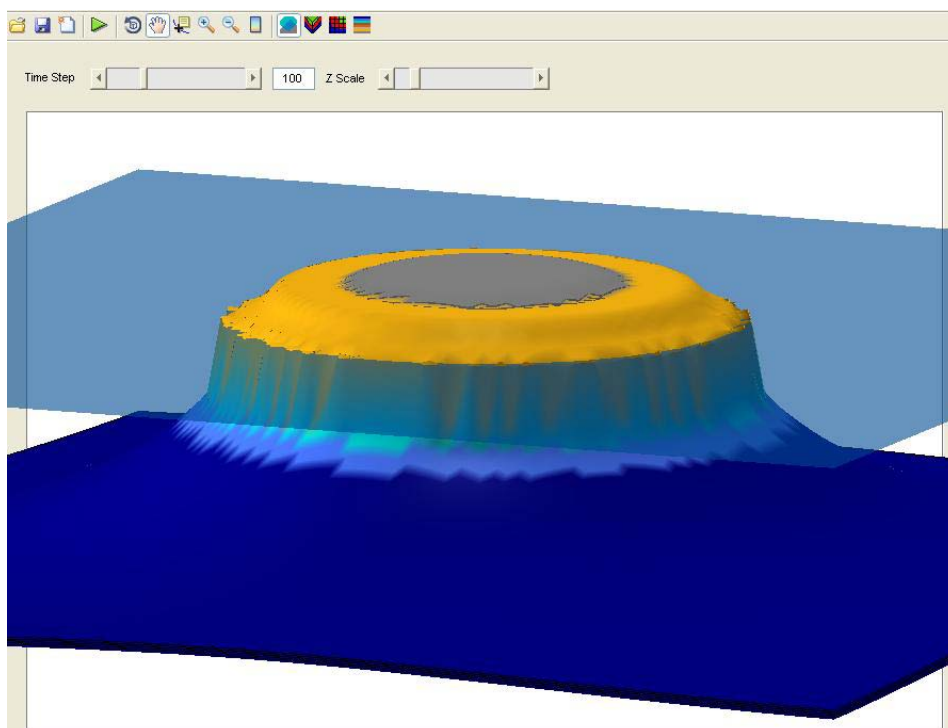


Figura 6.7. Modelo do período *LST* simulado em CarbSM, mostrando o nível do mar do fim do período *LST*.

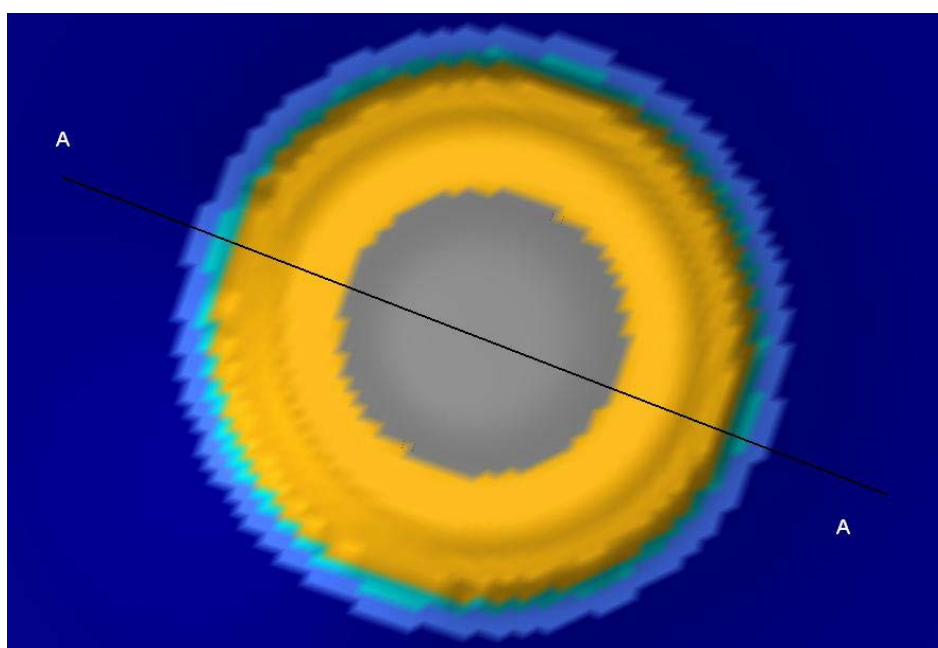


Figura 6.8. Vista em planta do modelo simulado no período *LST*.



Figura 6.9. Corte transversal AA da Figura 6.8., as linhas pretas são linhas de tempo de 200 kA.



Figura 6.10. Legenda de cores utilizadas em CarbSM.

As características procuradas foram bem reproduzidas por CarbSM, apesar da falta do efeito da direção principal do vento e da ação das ondas. Porém, como foi citado anteriormente, nesse estado da formação do atol, esses efeitos não são muito importantes (Handford e Loucks, 1993). Por isso e pelo fato da superfície inicial ter sido bem regular, a distribuição de sedimentos fica bastante simétrica.

6.2.2. Transgressive System Tract (TST)

Nesse período, com a elevação do nível do mar relativo, o topo da plataforma é totalmente submerso e começam a aparecer depósitos de ambientes lagunais com pequenos recifes isolados. A borda da plataforma evolui por cima dos antigos depósitos em direção à parte mais interna da plataforma pra conseguir acompanhar a elevação do nível do mar. Quando o nível do mar sobe muito rápido ou a produção carbonática demora um pouco para começar em uma área recém coberta pelo mar, a deposição pode ser bastante condensada (Handford e Loucks, 1993).

O modelo conceitual de Handford e Loucks é mostrado na Figura 6.11, a Figura 6.12 mostra a variação eustática no período analisado. A Figura 6.13 mostra uma visão geral do modelo gerado no CarbSM, com a uma visão de planta na Figura 6.14 e um corte transversal na Figura 6.15.

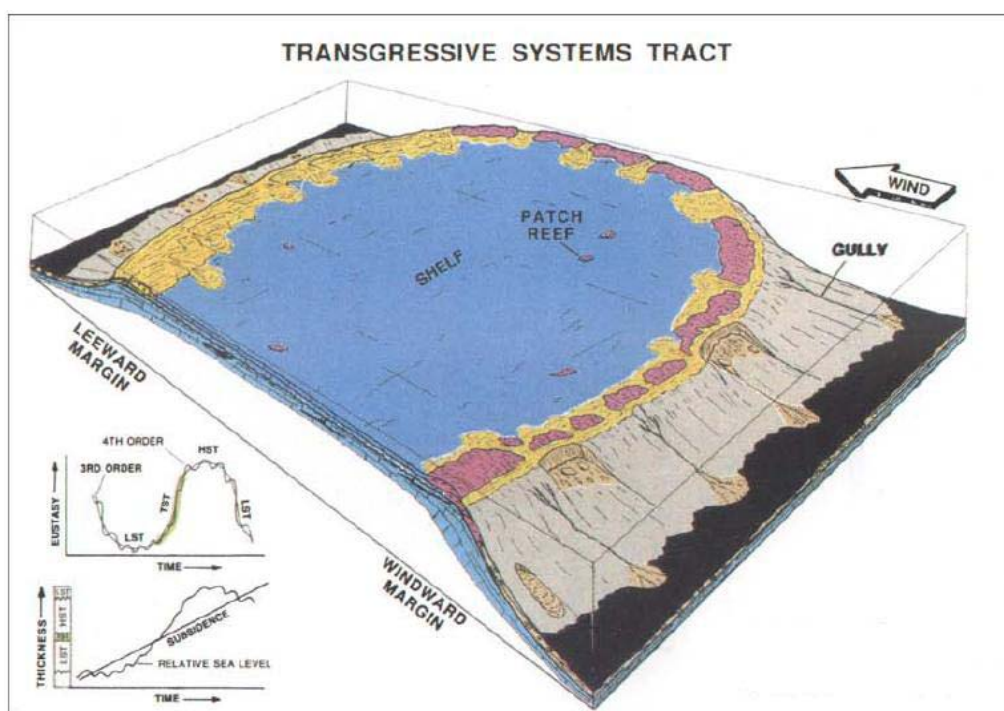


Figura 6.11. *Transgressive Systems Tract* no modelo de Handford e Loucks (1993).

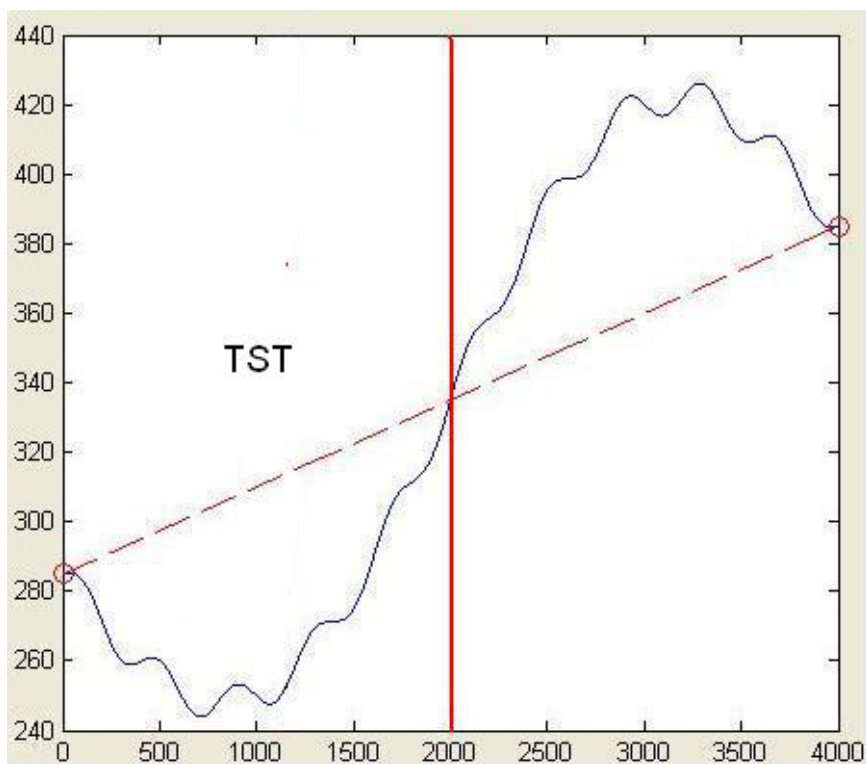


Figura 6.12. Variações eustáticas no período *TST* analisado.

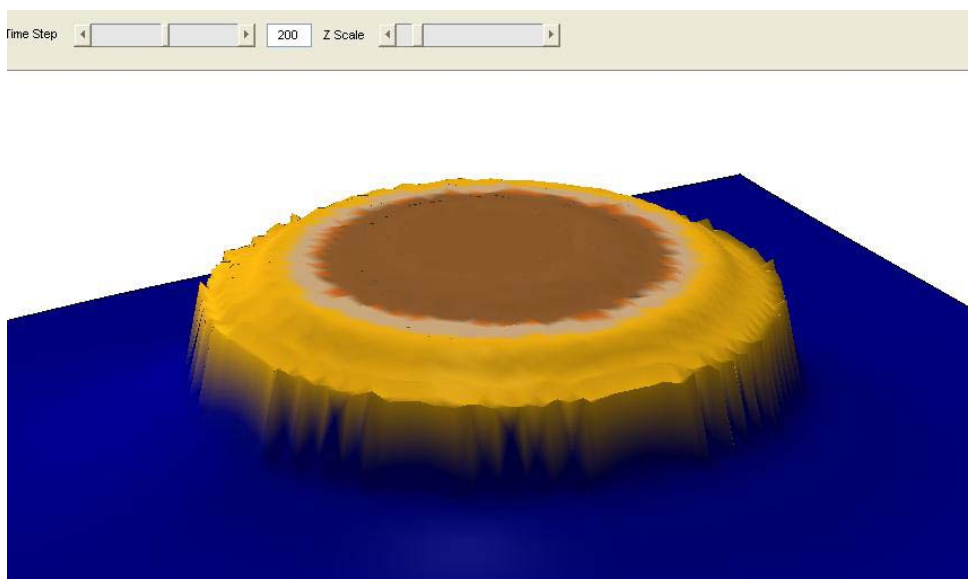


Figura 6.13. Modelo do período *TST* simulado em CarbSM.

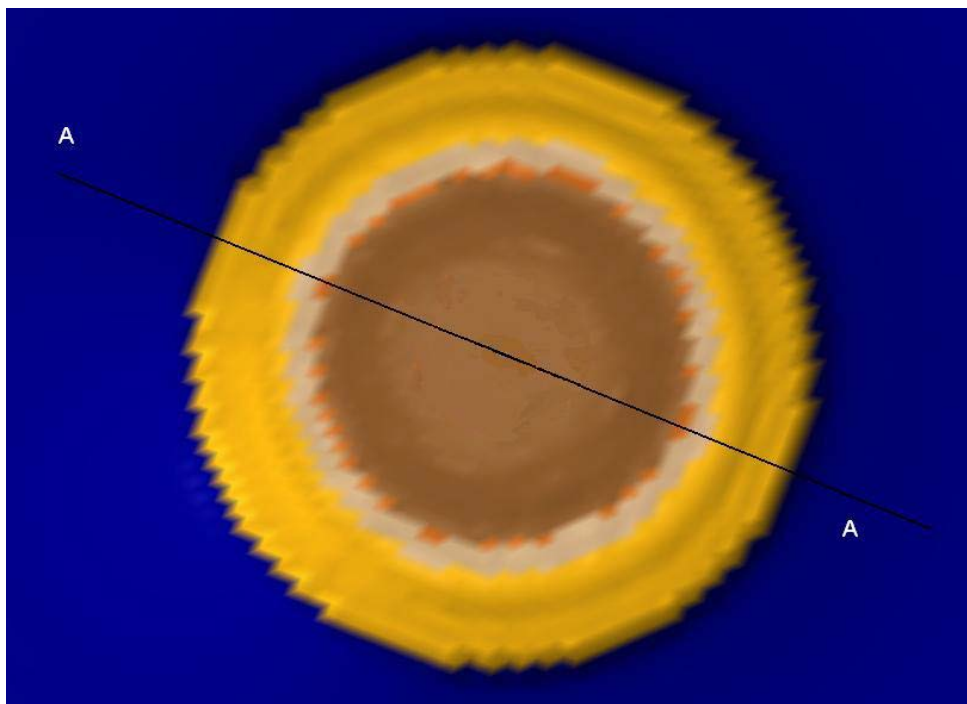


Figura 6.14 Vista em planta do modelo simulado no período *TST*.



Figura 6.15. Corte transversal AA da Figura 6.14.

Com os parâmetros utilizados na simulação, a evolução da plataforma consegue acompanhar sem muitas dificuldades o nível do mar, o que pode ser percebido no modelo simulado com CarbSM. As bordas da plataforma começam a subir e migrar para áreas mais internas e começam a aparecer sedimentos lagunais. Como o tempo de espera para produção carbonática para áreas recém cobertas pelo mar não está sendo modelado, camadas mais finas no início do

período TST não são encontradas no modelo simulado, ao contrário do modelo conceitual.

6.2.3. Highstand System Tract (HST)

As características típicas de um atol em período de HST são: alta produção carbonática, interior da plataforma bastante restrita e exportação de sedimentos para fora da plataforma (Handford e Loucks, 1993). O espaço de acomodação é suficiente para as margens da plataforma evoluírem bastante e há mais efeitos da erosão que deposita os sedimentos erodidos das margens do lado contra a direção do vento para dentro da laguna. Sedimentos erodidos mais finos são transportados nas margens a favor da direção do vento e exportados para fora da plataforma carbonática, levando a uma evolução parcial da plataforma em direção a favor do vento para a bacia. O nível do mar já não aumenta tanto quanto no TST e o espaço de acomodação no topo da plataforma fica menor, diminuindo a produção de carbonatos de interior de plataforma.

O modelo conceitual de Handford e Loucks é mostrado na Figura 6.16, a Figura 6.17 mostra a variação eustática no período analisado. A Figura 6.18 mostra uma visão geral do modelo gerado no CarbSM, com a uma visão de planta na Figura 6.19 e um corte transversal na Figura 6.20.

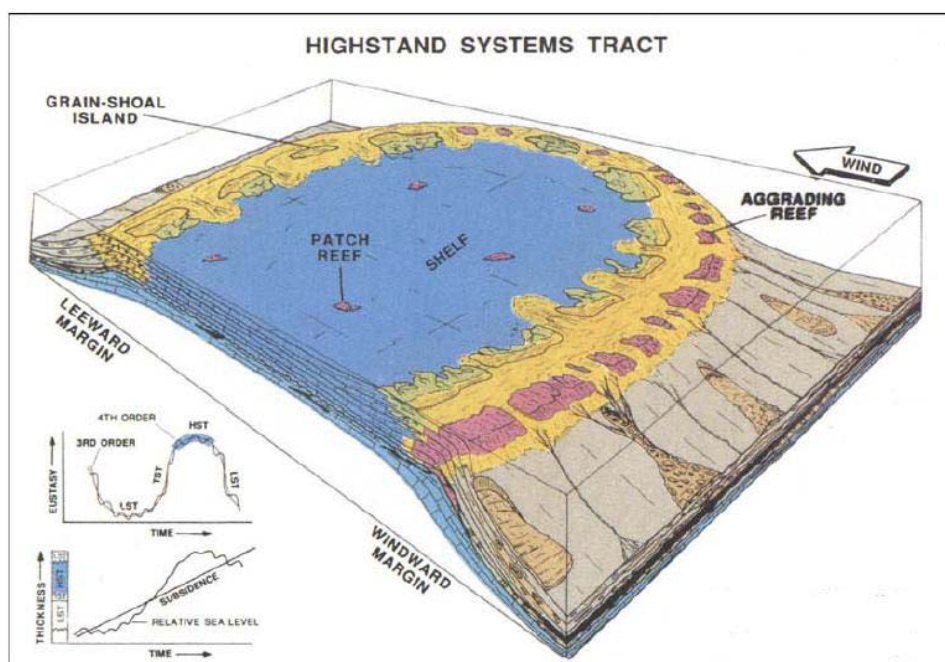


Figura 6.16. *Highstand Systems Tract* no modelo de Handford e Loucks (1993).

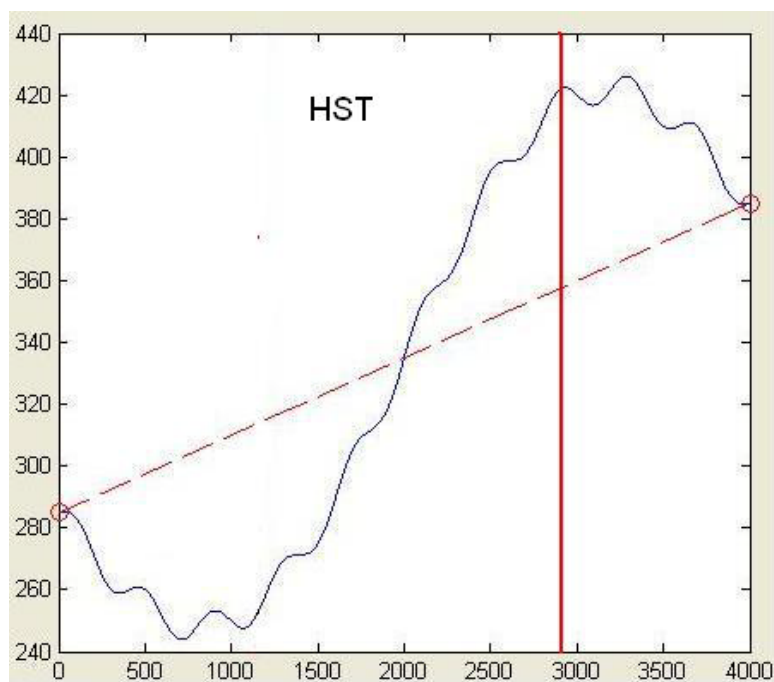


Figura 6.17. Variação eustática no período *HST*

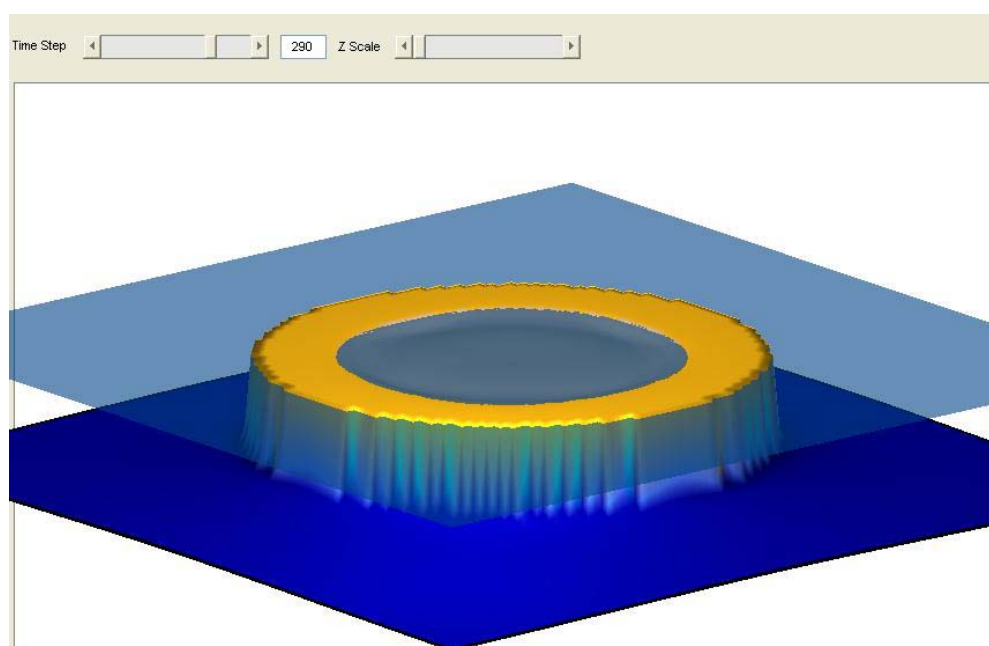


Figura 6.18. Modelo do período *HST* simulado em CarbSM, com o nível do mar a mostra.

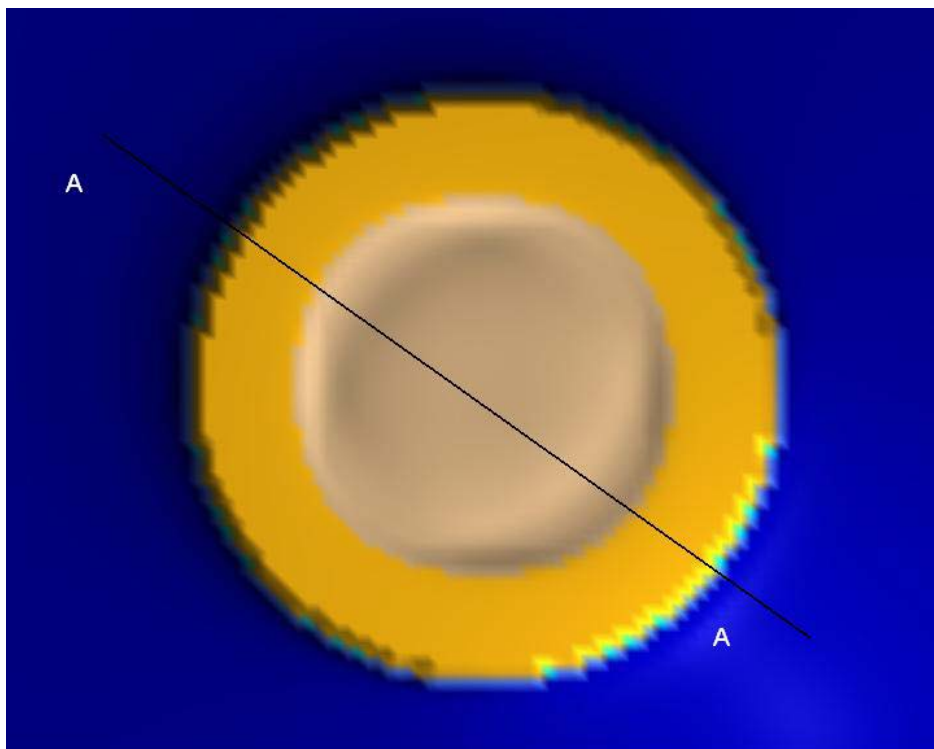


Figura 6.19 Vista em planta do modelo simulado no período *HST*



Figura 6.20. Corte transversal AA da Figura 6.19.

A partir do período *HST*, os efeitos dinâmicos presentes em uma plataforma carbonática se tornam muito importantes para seu desenvolvimento. Por isso, os resultados de CarbSM não são completos por não estar modelando esses efeitos. Com as águas mais rasas no topo da plataforma, o ambiente fica mais restrito e longe do mar aberto e pode-se notar um melhor crescimento de carbonatos de interior de plataforma. O crescimento no topo da plataforma consegue acompanhar a pequena elevação no nível do mar, porém essa morfologia não é muito realística, pois muitos atóis atuais têm lagunas mais profundas provocadas pelo afogamento por causa da subida no nível do mar.

6.2.4. Lowstand System Tract Final

No ciclo de *Lowstand System Tract* final, o nível relativo do mar cai 30 metros em 800 kA, deixando a mostra parte dos sedimentos carbonáticos que sofrem erosão subaérea. Geralmente essa erosão gera sedimentos mais finos, aumenta os depósitos desses sedimentos nas margens e na bacia direcionadas a favor da principal direção do vento (Handford e Loucks, 1993). O abaixamento do nível do mar gera uma pequena evolução das margens em direção à bacia, já que não há mais espaço pra crescer verticalmente e o crescimento só acontecer lateralmente, sobre os sedimentos anteriormente depositados. Porém, como no caso de um atol são comuns taludes muito íngremes, fica mais difícil da plataforma evoluir por cima desses taludes.

O corte transversal do modelo conceitual de Handford e Loucks é mostrado na Figura 6.21, a Figura 6.22 mostra a variação eustática da simulação completa. A Figura 6.23 mostra uma visão geral do modelo gerado no CarbSM, com a uma visão de planta na Figura 6.24 e um corte transversal na Figura 6.25.

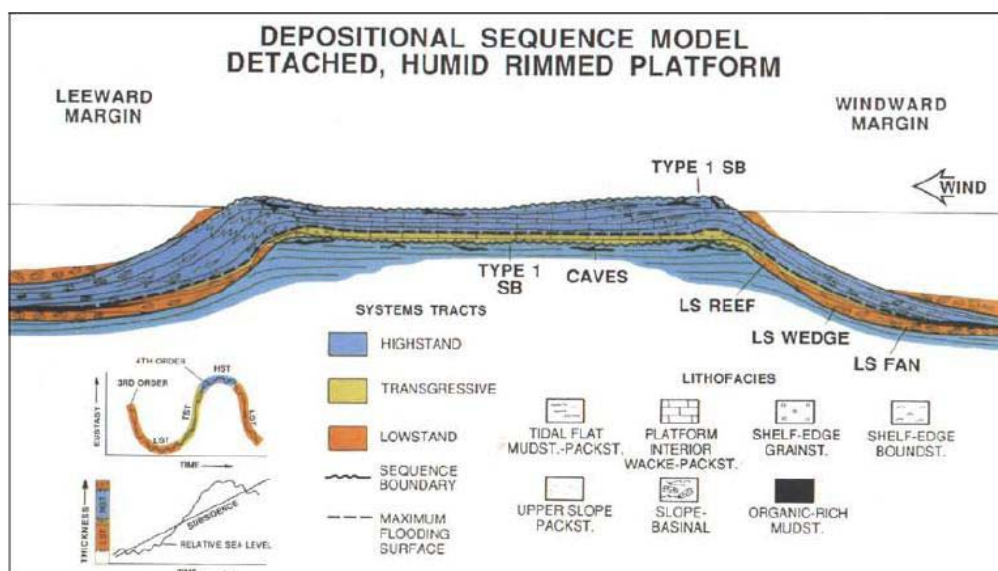


Figura 6.21. Corte transversal de um atol conceitual idealizado após os quatro ciclos levados em conta no modelo de Handford e Loucks (1993).

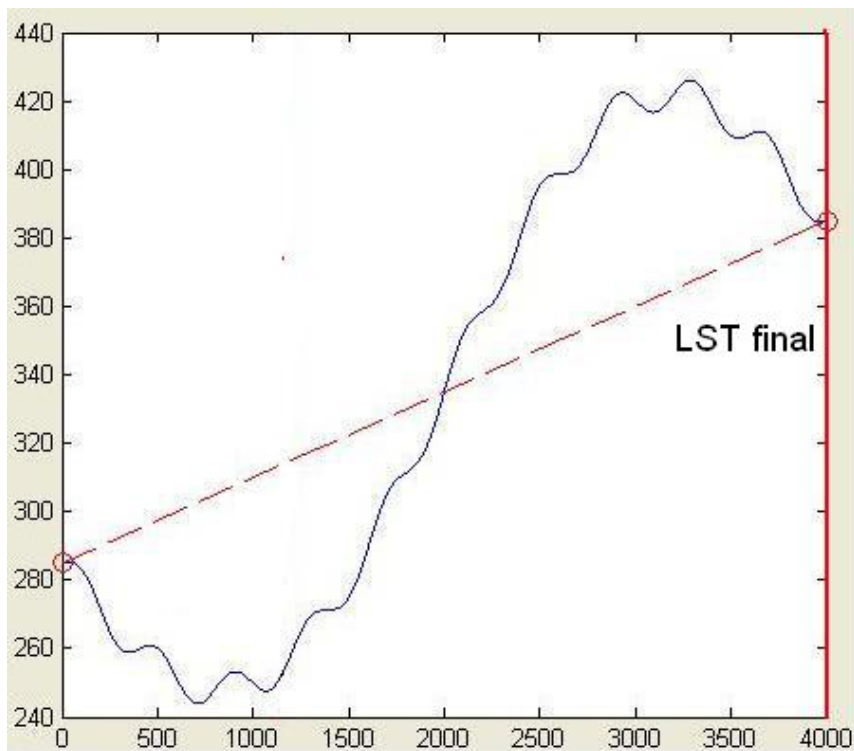


Figura 6.22. Variação eustática no período *LST* final

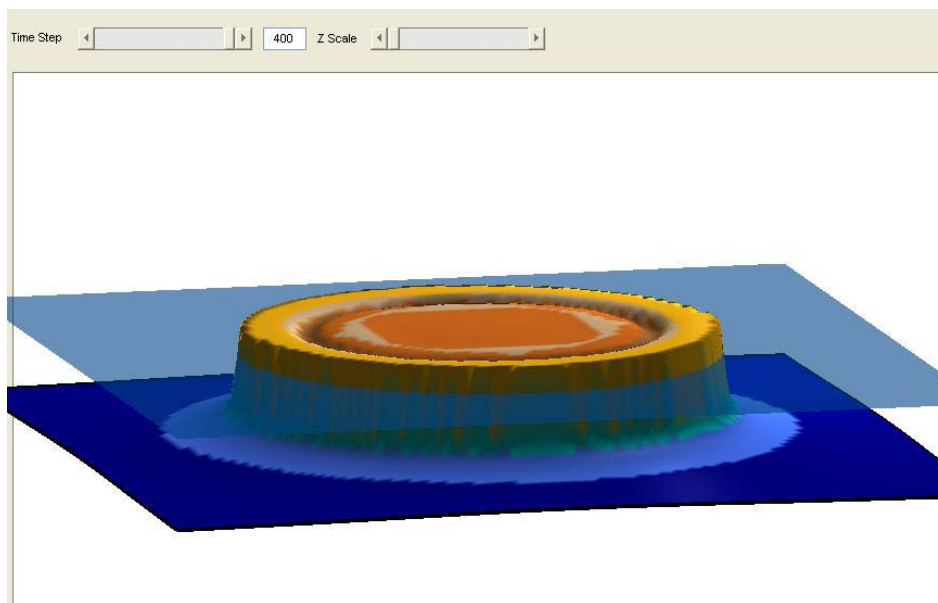


Figura 6.23. Modelo do período *LST* final simulado em CarbSM, com o nível do mar a mostra.

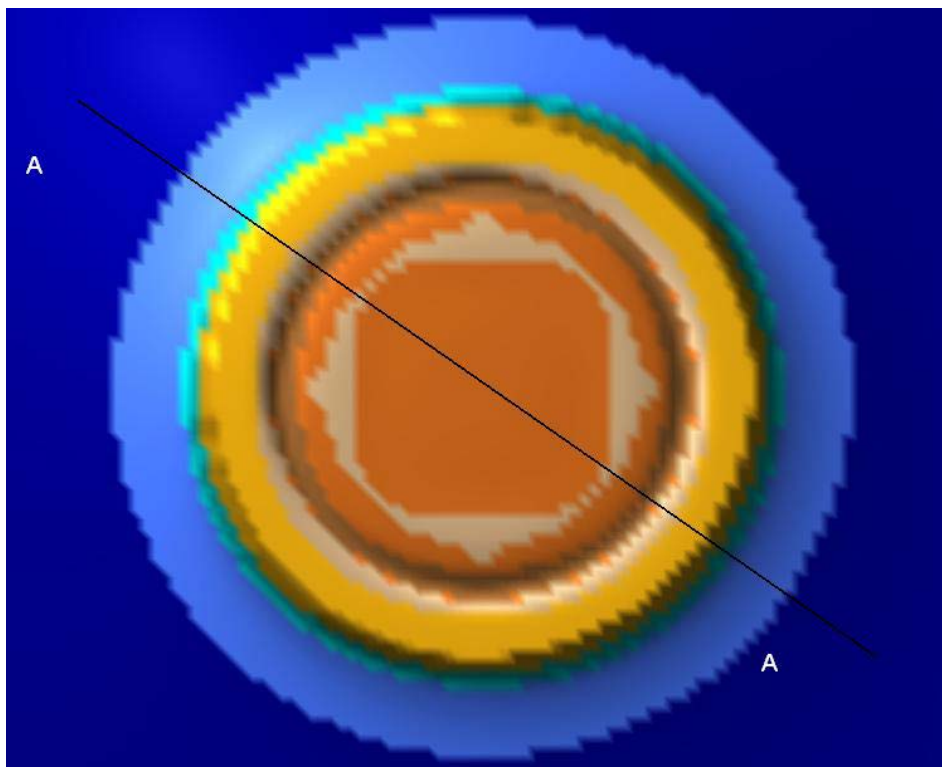


Figura 6.24 Vista em planta do modelo simulado no período *LST* final.

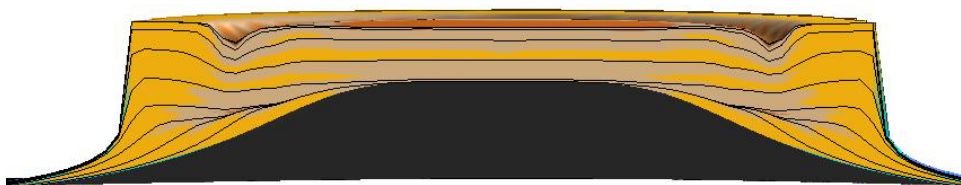


Figura 6.25. Corte transversal AA da Figura 6.24.

Fica claro que a parte superior da plataforma não muda nada, pois está acima do nível do mar e não pode crescer, e como também não há modelo de erosão, o sedimento fica intacto. As margens migram um pouco em direção à bacia, mas não muito, pois os antigos taludes inclinados dificultam a deposição carbonática. Praticamente não há produção de sedimento de interior de plataforma já que a parte mais interna foi praticamente toda descoberta pelo nível do mar e as regiões subaquosas são de margem de plataforma e bacia.