

QUÍMICA ATMOSFÉRICA

A QUÍMICA ATMOSFÉRICA PODE SER ENTENDIDA COMO TODO O CONJUNTO DE REAÇÕES QUE OCORREM NA ATMOSFERA. DE FATO, PODE-SE CONSIDERAR A ATMOSFERA COMO UM GRANDE REATOR QUÍMICO ONDE O FORNECIMENTO DE ENERGIA PARA AS REAÇÕES E OS ELEMENTOS OU SUBSTÂNCIAS PRESENTES REAGEM PROVOCANDO OS EFEITOS QUE IRÃO AFETAR A VIDA NA TERRA.

ESSE CONJUNTO DE REAÇÕES PODE SER ESTUDADO, DESCRITO E ANALISADO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE VÁRIOS CONCEITOS DA QUÍMICA, DESCRITOS A SEGUIR

1- ESTEQUIOMETRIA

A ESTEQUIOMETRIA PERMITE A COMPREENSÃO DAS REAÇÕES ATRAVÉS DAS REAÇÕES ENTRE OS REAGENTES E OS PRODUTOS, ESCRITOS NA FORMA DE EQUAÇÕES QUÍMICAS COM A FORMA $A + B \rightarrow C + D$, ONDE A, B SÃO OS REAGENTES E C, D SÃO OS PRODUTOS. COEFICIENTES NUMÉRICOS QUE MULTIPLICAM CADA UM DESSES ELEMENTOS ESTABELECEM A RELAÇÃO ENTRE A QUANTIDADE DE CADA UM NA REAÇÃO. DESSA FORMA, A EQUAÇÃO BALANÇADA PERMITE A IDENTIFICAÇÃO DA PROPORÇÃO MOLAR, MÁSSICA OU VOLUMÉTRICA ENTRE CADA REAGENTE E PRODUTO ENVOLVIDO NA

REAÇÃO. QUANDO ESSAS REAÇÕES SÃO ESTABELECIDAS, DIZ-SE QUE A EQUAÇÃO ESTÁ BALANÇADA.

2 - CINÉTICA QUÍMICA

ENQUANTO A ESTEQUIOMETRIA IDENTIFICA AS QUANTIDADES OU A PROPORÇÃO ENTRE REAGENTES E PRODUTOS, A CINÉTICA QUÍMICA BUSCA DETERMINAR A VELOCIDADE COM A QUAL AS REAÇÕES TÊM OCORRER. ESSA VELOCIDADE É DESCRITA PELA LEI DAS VELOCIDADES:

$$V = k [A]^m [B]^n, \text{ ONDE}$$

V = VELOCIDADE DA REAÇÃO

k = CONSTANTE DE VELOCIDADE, DETERMINADA PELA EQUAÇÃO DE ARRHENIUS

$(m + n)$ = ORDEM DA REAÇÃO (MUITAS REAÇÕES IMPORTANTES QUE OCORREM NA ATMOSFERA SÃO DE 1ª E 2ª ORDEM)

$[A], [B]$ = CONCENTRAÇÃO DE CADA REAGENTE.

OUTROS FATORES IMPORTANTES PARA A VELOCIDADE DAS REAÇÕES ENVOLVEM A ENERGIA ENVOLVIDA E A PRESENÇA DE ELEMENTOS CATALISADORES.

2.1. ENERGIA

PARA QUE AS REAÇÕES OCORRAM, A QUANTIDADE DE ENERGIA DISPONÍVEL PRECISA SER IGUAL OU MAIOR À ENERGIA DE FORMAÇÃO DOS PRODUTOS. NA QUÍMICA ATMOSFÉRICA, A PRINCIPAL FONTE DE ENERGIA É A LUZ SOLAR. ESSA QUANTIDADE DE ENERGIA ESTÁ DIRETAMENTE RELACIONADA AO COMPRIMENTO DE ONDA (OU À FREQUÊNCIA) DA LUZ INCIDENTE. ESSAS REAÇÕES SÃO CHAMADAS DE ~~UM EXEMPLO DE~~ FOTOCQUÍMICAS.

UM EXEMPLO É A FOTOLÍSE DO DIÓXIDO DE NITROGÊNIO



$h\nu$ REPRESENTA A ENERGIA FORNECIDA PELA LUZ SOLAR ($h \rightarrow$ CONSTANTE DE PLANCK, $\nu \rightarrow$ FREQUÊNCIA DA ONDA). O ÁTOMO DE OXIGÊNIO PRODUZIDO É EXTREMAMENTE REATIVO E TEM POSTERIOR PARTICIPAÇÕES NAS REAÇÕES QUE DÃO ORIGEM AO ~~(OZÔNIO TROPOSFÉRICO E A FORMAÇÃO DA NEVOA DENOMINADA DE SMOG FOTOQUÍMICO)~~ OZÔNIO TROPOSFÉRICO E À FORMAÇÃO DA NEVOA DENOMINADA DE "SMOG FOTOQUÍMICO".

2.2 - CATALIZADORES

OS CATALIZADORES SÃO ESPÉCIES QUÍMICAS MUITO REAGENTES RESULTANTES, POR EXEMPLO, DE REAÇÕES DE FOTOÍLISE, QUE ACELERAM AS REAÇÕES QUÍMICAS RESPONSÁVEIS TANTO PELA FORMAÇÃO, QUANTO PELA DESTRUIÇÃO DE MUITOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE INTERESSE.

UMA CARACTERÍSTICA DOS CATALIZADORES É QUE, APESAR DE PARTICIPAREM DAS REAÇÕES COMO REAGENTES, ELAS SÃO REGENÉRADAS COMO PARTE DO PRODUTO DA REAÇÃO OU CADAÇA DE REAÇÕES ENVOLVIDAS. DESSA FORMA, QUANTO MAIOR A QUANTIDADE DESSES CATALIZADORES, MAIOR A PROBABILIDADE, DADAS AS CONDIÇÕES DE FORNECIMENTO DE ENERGIA E DO ESTADO TERMODINÂMICO, DO AUMENTO DA VELOCIDADE DAS REAÇÕES.

UM DOS PRINCIPAIS CATALIZADORES DAS REAÇÕES QUÍMICAS ATMOSFÉRICAS É O RADICAL HIDROXILA ($\text{OH}^\cdot$), EXTREMAMENTE REATIVO E COMPONENTE FUNDAMENTAL NA FORMAÇÃO DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO, BEM COMO NO CICLO DO METANO.

3 - Equilíbrio

ENQUANTO A ESTEQUIOMETRIA REACIONA AS QUANTIDADES E A PROPORÇÃO ENTRE REAGENTES E PRODUTOS, A CINÉTICA INDICA A RAPIDEZ COM A QUAL AS REAÇÕES OCORREM, O EQUILÍBRIO QUÍMICO VAI SE VOLTAR À EFICIÊNCIA DAS REAÇÕES E O EQUILÍBRIO DE FASES, A FORMA ~~(COMO)~~ OU ESTADO EM QUE AS SUBSTÂNCIAS ENVOLVIDAS VÃO SE APRESENTAR

O EQUILÍBRIO QUÍMICO ~~(ESTA REACIONADO)~~ PODE SER DESCRITO PELA APLICAÇÃO DA LEI DE LE CHATELIER, QUE INDICA SE ~~(A REAÇÃO TEM)~~ O SISTEMA, QUANDO SUBMETIDO A ALTERAÇÕES NO FORNECIMENTO DE ENERGIA E TAMBÉM A ALTERAÇÕES NAS CONDIÇÕES TERMODINÂMICAS (PRESSÃO, TEMPERATURA) IMA' TENDEN PARA O LADO DOS REAGENTES OU DOS PRODUTOS.

O EQUILÍBRIO DE FASES ESTA' REACIONADO AO ESTADO EM QUE AS SUBSTÂNCIAS ENVOLVIDAS NAS REAÇÕES IMA' SE APRESENTAR E A QUANTIDADE DE CADA SUBSTÂNCIAS NOS DIFERENTES ESTADOS. POR EXEMPLO, EQUILÍBRIO GÁS-LÍQUIDO, OU GÁS-SÓLIDO, OU LÍQUIDO-SÓLIDO. ESSAS REAÇÕES ESTÃO DIRETAMENTE REACIONADAS AOS PROCESSOS DE REMOÇÃO, MITIGAÇÃO, (1) TRANSPORTE, CONTROLE, MEDIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS.

4. QUÍMICA ORGÂNICA E INORGÂNICA NOS PROCESSOS

ESTE ASPECTO ESTÁ VOLTADO AOS DIFERENTES TIPOS DE SUBSTÂNCIAS QUE FORMAM OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E OS TIPOS DE REAÇÃO ENVOLVIDOS, BEM COMO SEUS EFEITOS SOBRE A VIDA HUMANA E ~~(POR EXEMPLO, ÁCIDOS)~~ VEGETAL.

POR EXEMPLO ÓXIDOS NITROGENADOS E ÓXIDOS CONTENDO ENXOFRE (NO_x , SO_x etc.) ESTÃO ENVOLVIDOS NAS REAÇÕES QUE FORMAM O SMOG FOTOQUÍMICO, ASSOCIADOS A PROCESSOS DE IRRITAÇÃO DE MUCOSAS, BEM COMO DE OXIDAÇÃO DE ~~MUITAS~~ PLANTAS E OUTROS MATERIAIS.

POR OUTRO LADO, COMPOSTOS CONTENDO OS ELEMENTOS CITADOS, AO SEREM DEPOSITADOS NO SOLO PODEM MANTER ALGUMAS DE SUAS CARACTERÍSTICAS E QUALIDADES.

OUTRAS REAÇÕES DÃO ORÍGEN A ÁCIDOS QUE, AO ENTRAREM EM CONTATO COM A UNIDADE DAS NUVENS DÃO ORÍGEN AO FENÔMENO DA CHUVA ÁCIDA E OCASIONAM IMPACTOS À VIDA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE.

ALGUNS COMPOSTOS INORGÂNICOS QUE APRESENTAM ALTA ESTABILIDADE E SÃO INERTES QUIMICAMENTE NAS CONDIÇÕES ~~(E)~~ ENCONTRADAS PRÓXIMAS À SUPERFÍCIE TERRESTRE PODEM SE TORNAR MUITO REATIVOS SE FOMEM TRANSPORTADOS À ESTRATOSFERA E ENCONTRAREM AS CONDIÇÕES IDEAIS DE TEMPERATURA E

DISPONIBILIDADE DE ENERGIA, PASSANDO A INTERFERIR NA DESTRUIÇÃO DE OUTRAS SUBSTÂNCIAS. UM EXEMPLO CLÁSSICO É A DESTRUIÇÃO DO OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO DEVIDO AO TRANSPORTE DE COMPOSTOS CONTENDO FLUOR, CLORO OU BROMO, QUE INTERFEREM NO EQUILÍBRIO DESCRITO PELAS REAÇÕES DE CHAPMAN E DÊM ORÍGEN À FORMAÇÃO DO CHAMADO "BURACO NA CAMADA DE OZÔNIO".

MUITOS POLUENTES DE EMISSÃO TANTO NATURAL COMO ANTROPÔGENICA ENVOLVEM COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOCs). ESSES COMPOSTOS ESTÃO REACIONADOS À ORÍGEN DE PROBLEMAS NA FORMAÇÃO DE FETOS, BEM COMO À INCIDÊNCIA DE CÂNCERES. ALÉM DISSO, OS VOCs, JUNTAMENTE COM OS SO_x E O METANO, SÔ RESPONSÁVEIS PELOS IMPACTOS REACIONADO À COMPOSTOS ODORES.

MUITOS COMPOSTOS EMITIDOS PARA A ATMOSFERA (~~ESTÃO~~ ~~CONVÉLVIDOS~~) TOMAM PARTE EM PROCESSOS DE ~~AGLOMERAÇÃO~~ NUCLEAÇÃO, AGLOMERANDO-SE COM OUTROS COMPOSTOS GASOSOS, LÍQUIDOS OU SÓLIDOS, FORMANDO MATERIAL PARTICULADO. A DEPENDEN DO TAMAHO DAS PARTÍCULAS FORMADAS, ESSAS PARTÍCULAS SÔ REMOVIDAS POR DEPOSIÇÃO FÍSICA (DIÂMETRO AERODINÂMICO SUPERIOR À $10 \mu m$) - AS CHAMADAS PARTÍCULAS SEDIMENTÁVEIS). POR OUTRO LADO, QUANDO O TAMAHO DESSAS AEROSSÓIS É INFERIOR À

10 μm , ESSAS PARTÍCULAS TORNAM-SE INALÁVEIS E PODER FICAR RETIDAS EM DIFERENTES PONTOS DO APARELHO RESPIRATÓRIO, CAUSANDO ALERGIAS E OUTROS PROBLEMAS RESPIRATÓRIOS MAIS GRAVES QUE PODER LEVAR INCLUSIVE À MORTE.

FINALMENTE, NÃO SE PODE DEIXAR DE MENCIONAR OS EFEITOS QUE DIVERSOS POLUENTES EMITIDOS PARA A ATMOSFERA CAUSAM NO EQUILÍBRIO TÉRMICO ATMOSFÉRICO, MAIS COMUMENTE CONHECIDO COMO EFEITO ESTUFA. GASES COMO MONÓXIDO DE CARBONO, DIÓXIDO DE CARBONO E METANO AO SEREM TRANSPORTADOS PARA AS CAMADAS SUPERIORES DA TROPOSFERA FORMAM UMA ESPÉCIE DE BARREIRA QUE REFLETE DE VOLTA À TERRA PARTE DA RADIAÇÃO ~~SOLAR QUE~~ EMITIDA ~~PELO PLANETA~~ PELO PLANETA COMO RESULTADO DA ABSORÇÃO DA ENERGIA SOLAR. ESTE FENÔMENO SE DÁ POR CONTA DO COMPRIMENTO DE ONDA DESSA RADIAÇÃO E O TAMANHO DAS MOLECULAS DOS COMPONENTES DESSOS GASES. A CONSEQUÊNCIA É UMA TENDÊNCIA AO AUMENTO DA TEMPERATURA PRÓXIMA À SUPERFÍCIE TERRESTRE, ~~CAUSANDO~~ SENDO UM FATOR CONTRIBUINTE AO FENÔMENO DO AQUECIMENTO GLOBAL. UMA VEZ QUE A EMISSÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA ESTÁ DIRETAMENTE ~~RELA~~ RELACIONADA A ATIVIDADES INDUSTRIAIS QUE IMPACTAM NO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DA SOCIEDADE, ESSE TEMA TEM SIDO O OBJETO DE INTENSA PESQUISA E DISCUSSÃO, TANTO NO MEIO CIENTÍFICO, QUANTO POLÍTICO

VALE A PENA DESTACAR QUE PARTE DOS GASES DE EFEITO ESTUFA TAMBÉM PODEM REFLETIR ~~PARTE DA LUZ SOLAR~~ DE VOLTA AO ESPAÇO PARTE DA RADIAÇÃO SOLAR QUE CHEGARIA AO PLANETA, TAMBÉM IMPACTANDO NA REGULAÇÃO TÉRMICA E NA INCIDÊNCIA DE LUZ SOLAR EM ALGUMAS REGIÕES DO PLANETA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ESTUDO DA QUÍMICA ATMOSFÉRICA PERMITE A ANÁLISE DO ESTUDO E A COMPREENSÃO DOS FENÔMENOS REACIONADOS AS PROCESSOS QUE DÃO ORÍGEN E QUE REMOVEM OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS.

A COMPREENSÃO DOS ASPECTOS ENVOLVIDOS PERMITE O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA QUE AUXILIE NA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS, NO CONTROLE DA EMISSÃO (~~DE~~) E DA REMOÇÃO DESSES POLUENTES, BEM COMO (~~NO~~) NA SELEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS DE MEDIDAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS ENVOLVIDOS.

ESSE CONHECIMENTO, ALIADO À APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE PERMITE TAMBÉM O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS MATEMÁTICOS QUE VISAM NÃO SOMENTE DESCRVER A FORMA COMO OS POLUENTES SÃO TRANSPORTADOS E COMO ELES REAGEM, MAS TAMBÉM

2025159

10

POSSAM PREVER OS IMPACTOS ESPERADOS DEVIDO À EMISSÃO DESSES POLUENTES OU ENTÃO, DADO O CONHECIMENTO DAS FONTES QUE EMITEM POLUENTES (~~2~~) E DA QUANTIFICAÇÃO DESSES POLUENTES EM UMA REGIÃO AFETADA, (~~ESTAT~~) INDICAR A CONTRIBUIÇÃO DE CADA FONTE PARA O IMPACTO OBSERVADO EM UM DADO RECEPTOR.