

## **DER RESTINGA-WALD DER PEÇAS-INSEL IN DER SÜD-BRASILIANISCHEN KÜSTENREGION: SUKZESSIONALE UND STRUKTURELLE ENTWICKLUNG**

JASTER, Christoph B., Doktorant, CCFM / UFPR - Brasil

SANQUETTA, Carlos R.: DECIF / CCFM / UFPR – Brasil

SILVA, Sandro M.: FUNDAÇÃO O Boticário de Proteção à Natureza. São José dos Pinhais  
/ PR - Brasil

### **Einführung**

In Brasilien, einem Land, das durch eine grosse, noch anhaltende Erschliessung des ländlichen Raums geprägt ist, spielt das Verhältnis zwischen Mensch und Natur im Sinne der Erhaltung natürlicher Ressourcen eine wesentliche Rolle. Besonders in Bezug auf tropische Waldökosysteme und die damit verbundene hohe Artendiversität, ist das Wissen über waldwachstumsdynamische Prozesse von grosser Bedeutung und wichtiges Element zur Unterstützung einer funktionalen Umweltpolitik.

Wo immer der Mensch die Landschaft verändert hat, sind natürliche Regenerationsprozesse zu beobachten, durch welche, bei ausreichender Entwicklungszeit, der ursprüngliche Gleichgewichtszustand annähernd wieder hergestellt wird. Zu diesen Prozessen gehören Waldsukzessionen, die sich gewöhnlich in einem zeitlichen Rahmen von mehreren Jahrhunderten abspielen. Das trifft insbesondere für primäre Sukzessionen zu, die an die Neubildung und pedogenetischer Entwicklung von Substraten gebunden sind und sich somit entsprechend langsam vollziehen.

Während der Sukzession erfahren Waldgesellschaften Veränderungen floristischer, pflanzensoziologischer, physionomischer und struktureller Natur. Die Bestimmung der Sukzessionstadien von Waldgesellschaften beruht deshalb, angesichts der fast unüberschaubaren Komplexität tropischer Waldökosysteme, auf einer zusammenfassenden, überwiegend subjektiven Bewertung dieser Merkmale.

In verschiedenen Fällen berücksichtigt die brasilianische Umweltgesetzgebung eine sukzessionale Einstufung von Waldgesellschaften, wobei in der Regel weiter entwickelte Systeme strengeren Schutzmassnahmen unterliegen als die Anfangsstadien. Somit entsteht der Bedarf an präziseren, objektiven Methoden zur Bestimmung des sukzessionalen Entwicklungsgrades von hauptsächlich autochtoner Waldgesellschaften.

In der vorliegenden Arbeit soll ein solches, objektives Verfahren vorgestellt werden, bei dem der Einfachheit der Anwendung, auch durch Nicht-Spezialisten, besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Dabei stehen besonders Strukturparameter im Vordergrund, die mit einfachsten Mitteln erfasst werden können und somit die Anwendbarkeit der Methode verbessern.

### **Die Beschreibung sukzessionaler Entwicklungsprozesse**

Die genaue Darstellung von Sukzessionen ist durch den langsamen Vollzug derselben stark limitiert. Das Monitoring permanenter Stichproben (direkte Methoden) kann selbst bei jahrzehntelanger Durchführung nur einen Bruchteil der gesamten Serie erfassen, sodass Schlüsse bezüglich vergangener und zukünftiger Entwicklung Fehleinschätzungen unterworfen sind. Oft bedient man sich deshalb indirekter Methoden, die von BRUBAKER (1981) unter den Sammelbegriffen Modellierung, Vegetationsrekonstruktion und Chronosequenzen zusammengefasst werden. Letztere werden in der vorliegenden Arbeit angewendet.

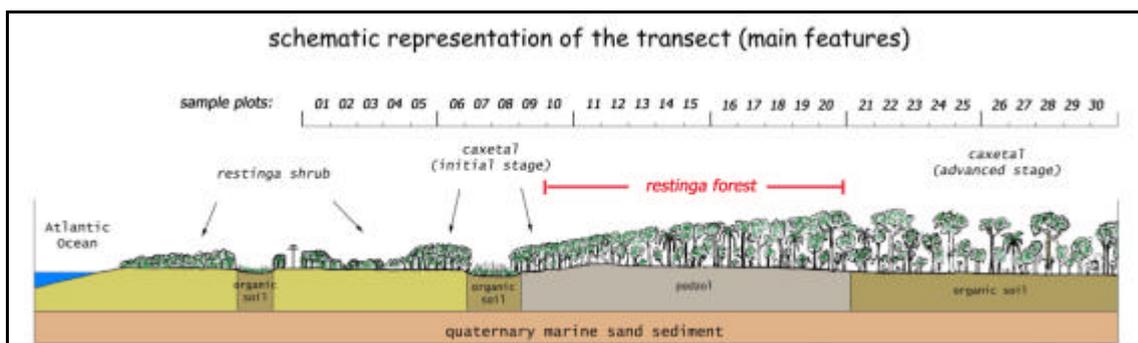
Chronosequenzen lassen von einem räumlichen Nebeneinander auf ein zeitliches Nacheinander schliessen, wobei bei einmaliger Betrachtung ein bestimmter Abschnitt der Sukzessionsserie erfasst werden kann. Voraussetzung dafür ist jedoch eine genaue Kenntnis der standörtlichen Rahmenbedingungen, um Fehlschlüsse weitgehend zu reduzieren (MÜLLER-DOMBOIS & ELLENBERG, 1974). DIERSSEN (1990) und DIERSCHKE (1994) machen auf die Gefahr spekulativer Aussagen aufmerksam, weshalb derartige Ergebnisse gegebenenfalls als eine Annäherung der Realität zu betrachten sind. Dennoch können, unter Berücksichtigung der methodischen Einschränkungen, wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden.

Zeitliche Vegetationsserien (Chronosequenzen) lassen sich oft in küstennahen Sanddünenystemen beobachten, in denen, durch besondere geomorphologische Bedingungen, wie die progressive Ablagerungen mariner Sedimente, neue Substrate gebildet werden. Die darauf entstehende Vegetation ist an die zeitliche Abfolge dieses Prozesses gebunden und weist somit verschiedene Entwicklungs- oder Sukzessionsstadien auf. In der Küstenregion von Paraná wird ein sukzessionaler Entwicklungsgradient von JASTER (1995) auf der Insel Superagüi beschrieben.

Als Hauptziel der vorliegenden Arbeit steht die Entwicklung eines Index, mit dem Waldgesellschaften quantitativ auf ihr sukzessionales Entwicklungsstadium bewertet werden sollen. Dabei soll eine relative Skala (Prozentwert) berücksichtigt werden, deren Nullpunkt den Beginn der Sukzessionsserie kennzeichnen und deren obere Grenze (100 %) mit dem Climaxwald gleichgesetzt wird. Die Methode soll sich auf einfach zu messende Strukturmerkmale stützen, um deren Einsatzbereich zu vergrössern.

## Das Untersuchungsgebiet

Die vorliegende Arbeit wurde auf der Peças-Insel in der südbrasilianischen Küstenregion, im Bundesstaat Paraná durchgeführt. Mit einer Fläche von ca. 10.000 ha ist die Insel ein Teil des 33.928 ha grossen Superagüi-Nationalparks, der Restinga-Vegetation, Mangroven und Tiefland-Feuchtwald zu seinen wichtigsten Ökosystemen zählt. Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung des Untersuchungsgebietes und der landschaftlichen Hauptmerkmale.



**Abb. 1 – Schematische Darstellung des Untersuchungsgebietes und der Hauptvegetationstypen. Besondere Berücksichtigung des im Restinga-Wald beobachteten Entwicklungsgradienten.**

## Methodik

In der vorliegenden Arbeit wird die oben beschriebene Situation zur Untersuchung der strukturellen Entwicklung des Restinga-Waldes während der Sukzession genutzt. Als Probestfläche wurde ein 600x100 m (6,0 ha) Transekt parallel zum zeitlichen Entwicklungsgradienten (also rechtwinklig zur Küstenlinie) angelegt. Der Transekt wurde in

30 Unterparzellen (Aufnahmestreifen) von 20 x 100 m unterteilt, die seitlich nebeneinander parallel zur Küstenlinie positioniert wurden (rechtwinkelig zur Längsachse des Gesamttransekts). Nach der Auffassung eines zeitlichen Entwicklungsgradienten des Geländes, weist die Vegetation jeder dieser 30 Probestellen ein bestimmtes Sukzessionsstadium auf und kann somit als Grundaufnahmeeinheit angesehen werden. Um die statistische Auswertung zu ermöglichen, wurde jeder Aufnahmestreifen in fünf Untereinheiten von je 20 x 20 m unterteilt.

Auf dem Gesamttransekt wurden sämtliche Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) ab 10 cm erfasst. Nach einer Vorauswertung und pflanzengesellschaftlicher Unterteilung des Geländes, wurde die Untersuchung auf die sogenannte "restinga arbórea" (eigentlicher Restinga-Wald) konzentriert, in der ein annähernd linearer zeitlicher Entwicklungsgradient vermutet werden konnte.

Die Vegetation wurde anhand folgender Variablen untersucht:

- $D_{med}$ : mittlerer Brusthöhendurchmesser in cm
- $D_{dom}$ : Oberdurchmesser in cm (Mittelwert der 100 stärksten Bäume pro Hectar, gemessen in Brusthöhe)
- $H_{med}$ : mittlere Höhe in m
- $H_{dom}$ : Oberhöhe (Höhenmittelwert der 100 stärksten Bäume pro Hectar)
- N: Abundanz (Individuenanzahl pro Hectar)
- G: Basalfläche ( $m^2/ha$ )
- S: Artenzahl (\*)
- H': Diversität (Shannon-Index) (\*)
- MQ: Mischungsquotient (Artenzahl / Individuenzahl) (\*)

(\*): bezogen auf 400  $m^2$  grosse Unterparzellen. Dient lediglich dem Vergleich untereinander, jedoch nicht als absolute Bewertung, da floristische Sättigung nicht erreicht.

Im Restinga-Wald wurde das Verhalten dieser Variablen untersucht und die aussagekräftigsten definiert, wobei Strukturmerkmale im Vordergrund stehen sollten. Die so ausgewählten Variablen wurden für die Konstruktion des Sukzessionsindex herangezogen. Ihre zukünftige Entwicklung wurde anhand von Wachstumskurven geschätzt.

## Ergebnisse

Die Diagramme in Abb. 2 zeigen das Verhalten der untersuchten Variablen entlang des gesamten Transekts. Danach lässt sich eindeutig erkennen, dass der Restinga-Wald sich von den übrigen Pflanzengesellschaften aufgrund eines mehr oder weniger deutlichen Trends der meisten Variablen abhebt, ausserdem durch eine entsprechend geringe Dispersion der Daten (hier nicht aufgeführt). Durchmesser- und Höhenwerte, sowie der Mischungsquotient zeigen einen relativ eindeutigen Anstieg, während die Baumabundanz umgekehrte Tendenz aufweist. Basalfläche, Artenzahl und Diversität lassen keinen Trend erkennen.

Einzig im Restinga-Wald kann die Existenz eines Entwicklungsgradienten angenommen werden, weshalb sich die weiteren Analysen auf die zu diesem Vegetationstyp gehörenden Probestellen 09 bis 20 beschränken. Die übrigen Transektabschnitte waren offensichtlich verschiedenen Störungsfaktoren von geomorphologischer Natur aber auch menschlicher Einwirkung ausgesetzt, welche das Bild einer klaren Sukzessionsfolge unkenntlich machten.

Die Aussagekraft der Variablen wird mit Hilfe der Faktorenanalyse untermauert, sodass eine Auswahl der bedeutendsten vorgenommen werden kann. Baumdurchmesser und -höhen, sowie Basalfläche tragen in ähnlicher Weise zur Varianz der Daten bei. Allerdings wird die Aussagekraft der Letzteren durch die umgekehrte Korrelation zwischen der Grösse der Individuen (abhängig von Durchmessern und Höhen) und deren Häufigkeit (Abundanz) im Gelände aufgehoben. Ausserdem zeigte die Anpassung der Daten des Restinga-Waldes an

verschiedene lineare Regressionsmodelle für Durchmesser, Höhen, Abundanz und Mischungsquotient wesentlich günstigere Werte ( $R^2$  und  $S_{xy}\%$ ) als für die übrigen Variablen. Mit Ausnahme des Mischungsquotienten, aufgrund seiner floristischen Komponente, wurden diese als Basis für die Entwicklung des Index ausgewählt.

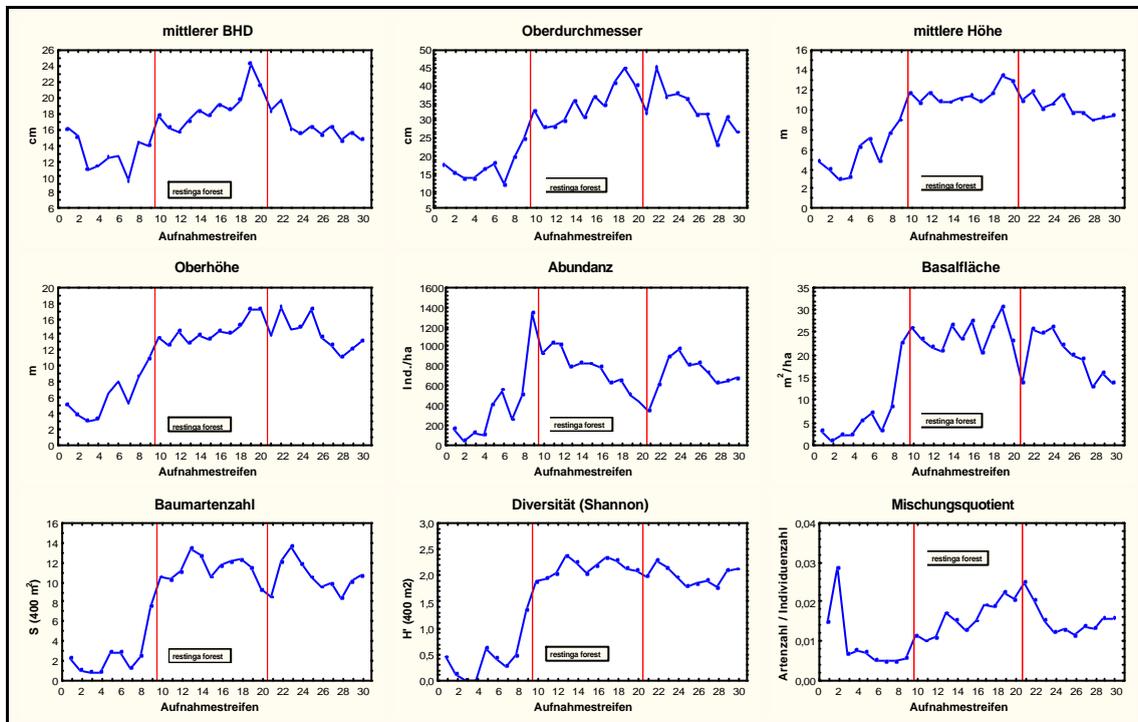


Abb. 2 – Verhalten der untersuchten Variablen entlang des Transekts, unter besonderer Berücksichtigung des Restinga-Waldes (Mitte der Grafiken, zwischen den senkrechten Balken).

Der untersuchte Restinga-Wald vertritt einen bestimmten (mittleren) Abschnitt der gesamten sukzessionalen Folge. Die vergangene und zukünftige Entwicklung, bis zum Erreichen eines dynamischen Gleichgewichtszustandes (Climaxwald) wurde anhand von Wachstumskurven beschrieben. Als Basis diente das CHAPMAN-RICHARD-Modell ( $Y=A*(1-\exp(-B*t))^C$ ) (PIENAAR, 1983; ZEIDE, 1993; VANKLAY, 1994), bei dem der C-Index auf 0,5 festgelegt wurde. Die Probeflächen können, nach der vertretenen Auffassung der Vegetation (Chronosequenz) als relative zeitliche Einheiten angesehen werden. Der theoretische Nullpunkt (Beginn der Sukzessionsserie) wurde durch lineare Rückextrapolation geschätzt, wonach seine Position bei minus 5,0 relativen Zeiteinheiten festgelegt wurde. Die Probeflächen 09-20 erfuhren somit eine Korrektur auf 04-15. Die Abundanz-Werte, als einzige negativ korrelierende Variabel, wurden durch einen Korrekturfaktor umgewandelt, um die Anwendung der Wachstumskurve zu ermöglichen (Abb.3).

Die asymptotischen Werte (A-Koeffizient der justierten Kurven) entsprechen den theoretischen Höchstwerten einer jeden Variabel und können so mit einem Climaxzustand der Waldgesellschaft gleichgesetzt werden. Demnach hat die Climax-Vegetation, unter den örtlich vorhandenen Standortsbedingungen, folgende theoretische Strukturmerkmale:

mittlerer Stammdurchmesser (BHD):	27,22 cm
Oberdurchmesser:	74,14 cm
mittlere Baumhöhe:	12,44 m
Oberhöhe:	18,53 m
Abundanz:	568 Ind./ha

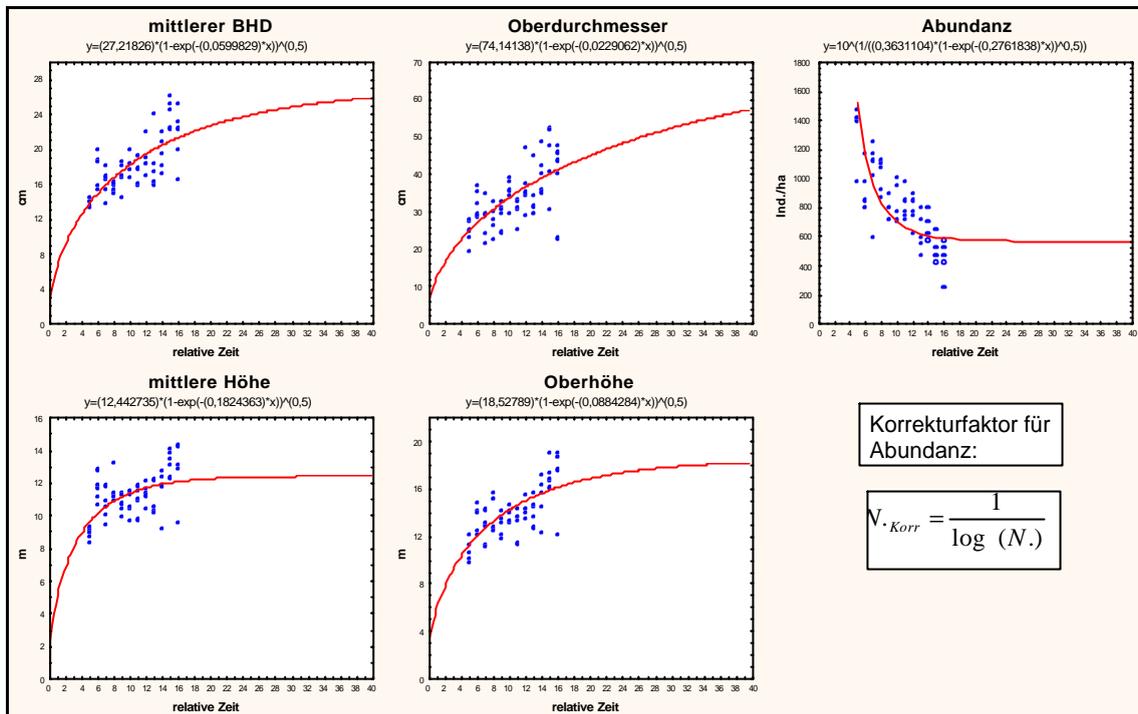


Abb. 3 – Anpassung der Wachstumskurven nach dem CHAPMANN-RICHARD-Modell.

### Der Sukzessionsindex NDE

Für die Berechnung eines sukzessionalen Entwicklungsgrades anhand der oben behandelten Variablen wird folgende Formelstruktur vorgeschlagen:

$$NDE = \sqrt[3]{\frac{(D_{med}^2 * H_{med}) + (D_{dom}^2 * H_{dom})}{\log(N)}}$$

Zu dieser Formelstruktur sind folgende Bemerkungen zu treffen:

Durch die angegebene Formel wird ein desto höherer Wert berechnet, je weiter die sukzessionale Entwicklung fortgeschritten ist. Die Relation zwischen Baumdurchmesser und –höhen richtet sich nach dem von SPURR (1952) vorgeschlagenen Grundsatz der kombinierten Variablen  $D^2 * H$ , womit das Stammvolumen als Indikator für das Wachstum angesprochen wird. Die Einbindung mehrerer, wesentlich eng korrelierter Variablen in die Formelstruktur soll eine Pufferwirkung herbeiführen, die stochastische extreme Schwankungen von einzelnen Variablen ausgleichen soll. Die Extraktion der Kubikwurzel bewirkt ein nahezu lineares Verhalten des Indexes im Verhältnis zu den Variablen.

Nach den oben angegebenen asymptotischen Maximalwerten errechnet sich durch die angegebene Formel ein Wert von 34,3. Dies entspricht dem für die Restinga-Vegetation theoretischen Höchstwert und dient als Referenz für die Relativierung anderer, weniger entwickelter Gesellschaften. Dieser Wert, bezeichnet als  $NDE_{max}$ , kann als Klimaxkonstante angesehen werden, die einer jeden Waldformation eigen ist, aber naturgemäss verschiedene Werte aufweist, je nach Strukturtypus des Waldes. Die Relativierung lässt sich durch folgende Formel durchführen:

$$NDE_{\%i} = \frac{NDE_i}{NDE_{\max}} * 100$$

Die im Untersuchungsgelände aufgenommenen Waldgesellschaften lassen sich durch die vorgeschlagene Methode quantitativ bewerten, woraus sich für die verschiedenen Probeflächen folgende Werte errechnen lassen:

Parz.	NDE%	Parz.	NDE%	Parz.	NDE%
09	40,3	13	50,0	17	56,3
10	53,2	14	56,2	18	63,7
11	46,8	15	51,3	19	72,9
12	48,7	16	58,6	20	67,9

### Schlussbemerkungen

Die hier präsentierte Methode kann, nach entsprechender Verfeinerung und Validation, in verschiedenen Bereichen der Forstwissenschaft, des Umweltmanagements und der Umweltgesetzgebung Anwendung finden. Einschränkungen sind bezüglich des hier berücksichtigten Mindestdurchmesser gegeben, der auch den Wert der Climaxkonstante  $NDE_{\max}$  beeinflusst. Ferner werden in sehr frühen Sukzessionsstadien verfälschte Werte errechnet, aufgrund der Forderung einer zahlenmässigen Sättigung der untersten Durchmesserklassen. Ausserdem ist eine nahezu plenterwaldähnliche Struktur Voraussetzung, weshalb stark beeinflusste, etwa exploitierte Waldgesellschaften, ebenfalls verfälscht bewertet werden. Weiterführende Forschungsarbeiten sollten sich auf die Sensibilität des Indexes bezüglich der Einschränkungen konzentrieren, ebenso auf die (absolute) zeitliche Komponente der Sukzession. Die Überprüfung von Climaxstrukturen anderer Waldformationen, sowohl geschlossene wie auch offene, und die Anwendbarkeit und Effektivität der Methode in denselben kann ebenfalls interessante Ergebnisse liefern.

### Literaturangaben

- BRUBAKER, L. B.: Long-term forest dynamics. In: Forest Succession – Concepts and Application. Ed. by D. C. West, H. H. Shugart, D. B. Botkin. Springer Verlag. New York, USA. 1981. p. 95-106.
- DIERSCHKE, H.: Pflanzensoziologie: Grundl. u. Methoden. Ulmer. Stuttgart/Germ.. 1994. 683 p.
- DIERSSEN, K.: Einführung in die Pflanzensoziologie (Vegetationskunde). Wiss. Buchgesellschaft. Darmstadt/Alemanha. 1990. 241 p.
- JASTER, C. B. Strukturanalyse einiger Waldgesellschaften in der südbrasilianischen Küstenregion – im Gebiet des immergrünen subtropischen Küstenfeuchtwaldes - Mata Atlântica. Magisterarbeit. Forstwissenschaftlicher Fachbereich, Abt. Tropen-Subtropen. Georg-August-Universität Göttingen. Göttingen, Alemanha. 1995. 116 p.
- MUELLER-DOMBOIS, D., ELLENBERG, H.: Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons. New York. 1974. 547 p.
- PIENAAR, L. V.: Quantitative theory of forest growth. Thesis PhD. University of Washington. Washington/USA. 1965. 176 p.
- SPURR, S. H.: Forest Inventory. Ronald., N. Y. 1952. 476 p.
- VANKLAY, J. K.: Modelling forest growth and yield – Applications to mixed tropical forests. CAB International. Wallingford/UK. 1994. 312 p.
- ZEIDE, B.: Analysis of growth equations. Forest Science, Vol. 39(3). 1993. p. 594-616.